

Korozijska otpornost premaza sušenih infracrvenim zračenjem

Frljužec, Sofija

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:766335>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-27**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Sofija Frljužec

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Ivan Stojanović, dipl. ing.

Student:

Sofija Frljužec

Zagreb, 2022.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem svome mentoru, izv. prof. dr. sc. Ivanu Stojanoviću na ukazanoj pomoći, utrošenom vremenu i svim udijeljenim savjetima prilikom izrade završnog rada. Također zahvaljujem Lovri Turkalju, mag. ing. mech. i Ivanu Cindriću, mag. ing. mech. na pomoći pri izradi eksperimentalnog dijela rada te tvrtki Končar – Metalne Konstrukcije u kojoj je eksperimentalni dio djelomično proveden.

Posebne zahvale užoj obitelji: mami, tati i bratu koji su mi podrška od malih nogu u svemu što radim. Veliko hvala kolegama i prijateljima na podršci, osobito kolegici Karli Smolčić te kolegama Filipu Svibenu i Josipu Cerovečkom. Na kraju, puno hvala mojoj cimerici Ana - Mariji Antić na strpljenju i potpori od početka studija.

Sofija Frljužec



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
 Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
 proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
 materijala i mehatronika i robotika

| | |
|-------------------------------------|--------|
| Sveučilište u Zagrebu | |
| Fakultet strojarstva i brodogradnje | |
| Datum | Prilog |
| Klasa: 602 – 04 / 22 – 6 / 1 | |
| Ur.broj: 15 - 1703 - 21 - | |

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Sofija Frljužec** JMBAG: **0035220454**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Korozijska otpornost premaza sušenih infracrvenim zračenjem**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Corrosion resistance of infrared dried coatings**

Opis zadatka:

U radu je potrebno obraditi organske premaze, s posebnim osvrtom na mehanizam sušenja. Detaljnije opisati način sušenja premaza infracrvenim zračenjem (IC), uređaje i karakteristike IC zračenja. Prikazati svojstva IC premaza, prednosti i nedostatke, te primjere primjene. Obraditi trendove razvoja i mogućnosti primjene u metalnoj industriji.

U eksperimentalnom dijelu rada potrebno je nanijeti premaze na čelične pločice, te posušiti pri atmosferskim uvjetima i IC zračenjem. Osmisliti i provesti laboratorijska ispitivanja korozijske otpornosti premaza nanijetih na ispitne uzorke. Analizirati rezultate i izvesti zaključke.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2021.

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Ivan Stojanović

Datum predaje rada:

1. rok: 24. 2. 2022.
 2. rok (izvanredni): 6. 7. 2022.
 3. rok: 22. 9. 2022.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 28. 2. – 4. 3. 2022.
 2. rok (izvanredni): 8. 7. 2022.
 3. rok: 26. 9. – 30. 9. 2022.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

| | |
|--|------|
| SADRŽAJ | I |
| POPIS SLIKA | III |
| POPIS TABLICA..... | V |
| POPIS OZNAKA | VI |
| POPIS KRATICA | VII |
| SAŽETAK..... | VIII |
| SUMMARY | IX |
| 1. UVOD..... | 1 |
| 2. KOROZIJA..... | 2 |
| 2.1 Klasifikacija korozije | 2 |
| 2.1.1 Vrste korozije s obzirom na mehanizam procesa..... | 2 |
| 2.1.2 Vrste korozije s obzirom na geometriju razaranja | 3 |
| 2.2 Prevencija od korozije..... | 7 |
| 3. Zaštita od korozije prevlačenjem..... | 8 |
| 3.1 Organski premazi | 8 |
| 3.1.1 Podjela organskih premaza prema sastavu..... | 9 |
| 3.1.2 Vrste premaza s obzirom na mehanizam sušenja..... | 11 |
| 4. IC sušenje premaza | 13 |
| 4.1 Karakteristike IC zračenja..... | 13 |
| 4.2 Mehanizam infracrvenog sušenja premaza | 14 |
| 4.3 Uređaji za sušenje IC premaza | 15 |
| 4.3.1 Plinski uređaji za IC sušenje | 16 |
| 4.3.2 Električni uređaji za IC zračenje | 18 |
| 4.4 Svojstva IC sušenih premaza | 19 |
| 4.5 Trendovi i razvoj sušenja premaza IC zračenjem | 19 |
| 5. Postrojenje za nanošenje i sušenje premaza u tvrtki Končar – Metalne konstrukcije | 20 |
| 6. Eksperimentalni dio | 25 |
| 6.1 Provedba ispitivanja | 25 |
| 6.1.1 Premazivanje i sušenje uzoraka | 25 |
| 6.1.2 Mjerenje debljine uzoraka..... | 28 |
| 6.1.3 Mjerenje tvrdoće olovkom..... | 30 |
| 6.1.4 Mjerenje tvrdoće metodom Shore D..... | 31 |
| 6.1.5 Ispitivanje prionjivosti vlačnom metodom | 32 |
| 6.1.6 Ispitivanje zarezivanjem mrežice..... | 34 |
| 6.1.7 Ispitivanje otpornosti na udar..... | 37 |
| 6.1.8 Određivanje potencijala otvorenog strujnog kruga (OCP) | 38 |
| 6.1.9 Elektrokemijska impedancijska spektroskopija (EIS) | 40 |
| 6.1.10 Ispitivanje u slanoj komori..... | 46 |
| 6.1.11 Ispitivanje u vlažnoj komori | 52 |
| 6.1.12 Ispitivanje u kiselinama | 55 |
| 6.2 Rasprava..... | 61 |
| 7. ZAKLJUČAK..... | 64 |

| | |
|-----------------|----|
| LITERATURA..... | 65 |
| PRILOZI..... | 67 |

POPIS SLIKA

| | |
|---|----|
| Slika 1. Opća korozija [5] | 3 |
| Slika 2. Galvanska (bimetalna) korozija [5]..... | 4 |
| Slika 3. Korozija u procjepu [5] | 4 |
| Slika 4. Rupičasta korozija [5] | 5 |
| Slika 5. Interkristalna korozija [5]..... | 5 |
| Slika 6. Selektivna korozija – grafitizacija [5] | 6 |
| Slika 7. Erozijska korozija [5]..... | 6 |
| Slika 8. Napetosa korozija [5] | 7 |
| Slika 9. Podjela metoda zaštite materijala..... | 7 |
| Slika 10. Sustav premaza | 8 |
| Slika 11. Podjela premaza na temelju mehanizma sušenja | 11 |
| Slika 12. Fizikalno sušenje [4] | 11 |
| Slika 13. Oksidacijsko sušenje premaza [4]..... | 12 |
| Slika 14. Dvokomponentno sušenje [4] | 12 |
| Slika 15. Elektromagnetski spektar zračenja [13]..... | 13 |
| Slika 16. Skica mehanizma IC sušenja premaza [15] | 14 |
| Slika 17. Plinski uređaj za IC sušenje [20]..... | 16 |
| Slika 18. Komora za katalitičko IC sušenje premaza [23] | 17 |
| Slika 19. Prototip INFRACAT-a u tvrtki Končar – Metalne konstrukcije | 17 |
| Slika 20. Sustav za dovod plina u tvrtki Končar – Metalne konstrukcije | 17 |
| Slika 21. Skica uređaja za električno IC zračenje [20] | 18 |
| Slika 22. Električno IC sušenje u autoindustriji [24] | 18 |
| Slika 23. IC sušenje premaza automobila [26]..... | 19 |
| Slika 24. Pogon za sačmarenje u tvrtki Končar - Metalne konstrukcije | 20 |
| Slika 25. Skladištenje premaza i uređaj za miješanje..... | 22 |
| Slika 26. Nanošenje premaza zračnim prskanjem..... | 22 |
| Slika 27. Kontrola kvalitete nanošenja premaza na teško dostupnom mjestu | 23 |
| Slika 28. Nepravilnosti na površini | 23 |
| Slika 29. Razlijevanje premaza | 24 |
| Slika 30. Folija za zaštitu predmeta | 24 |
| Slika 31. Mjerenje mikroklimatskih uvjeta | 26 |
| Slika 32. Prijenos premaza žlicom na uzorak | 26 |
| Slika 33. Nanošenje premaza spiralnim aplikatorom..... | 26 |
| Slika 34. Sušenje ispitnih uzoraka IC zračenjem u tvrtki Končar – Metalne konstrukcije..... | 27 |
| Slika 35. Uzorci premaza Hempadur Avantguard 770 | 28 |
| Slika 36. Uzorci premaza Hempadur 15553 | 28 |
| Slika 37. Uređaj za ispitivanje tvrdoće olovkom | 30 |
| Slika 38. Oprema za ispitivanje prionjivosti vlačnom metodom | 32 |
| Slika 39. Čunjići zalijepljeni na ispitne uzorke..... | 32 |
| Slika 40. Izgled uzoraka nakon odvajanja čunjića | 33 |
| Slika 41. Izgled etalona za urezivanje <i>cross-cut</i> metodom | 34 |
| Slika 42. Uređaj za ispitivanje udarom | 37 |
| Slika 43. Uzorak ispitan udarom | 37 |
| Slika 44. Ispitna ćelija K0307 [29]..... | 39 |
| Slika 45. Elektrokemijsko ispitivanje vrijednosti E_{ok} | 39 |
| Slika 46. Prikaz elektrokemijskog sustava Nyquistovim dijagramom [4] | 41 |
| Slika 47. Prikaz elektrokemijskog sustava Bodeovim dijagramom [4] | 41 |
| Slika 48. Nyquistov dijagram za uzorak Z7 | 42 |

| | |
|--|----|
| Slika 49. Bodeov dijagram za uzorak Z7 | 42 |
| Slika 50. Nyquistov dijagram za uzorak IR6 | 43 |
| Slika 51. Bodeov dijagram za uzorak IR6..... | 43 |
| Slika 52. Nyquistov dijagram za uzorak Z6Z | 44 |
| Slika 53. Bodeov dijagram za uzorak Z6Z..... | 44 |
| Slika 54. Nyquistov dijagram za uzorak IR6Z..... | 45 |
| Slika 55. Bodeov dijagram za uzorak IR6Z | 45 |
| Slika 56. Slana komora Ascott S450 | 46 |
| Slika 57. Alat za urezivanje..... | 47 |
| Slika 58. Vlažna komora | 52 |
| Slika 59. Uzorci u vlažnoj komori 1. dan..... | 52 |
| Slika 60. Uzorci izloženi u vlažnoj komori 3.dan | 53 |
| Slika 61. Uzorci izloženi u vlažnoj komori 7.dan | 53 |
| Slika 62. Uzorci pripremljeni za uranjanje u kiseline | 55 |
| Slika 63. Uzorci uronjeni u vodenu otopinu dušične kiseline..... | 56 |
| Slika 64. Uzorci u sumpornoj kiselini za vrijeme i nakon 48 sati ispitivanja | 57 |
| Slika 65. Uzorci uronjeni u 5 %-tnu HCl | 59 |
| Slika 66. Uzorci nakon 48 sati izlaganja klorovodičnoj kiselini - Hempadur 15553..... | 60 |
| Slika 67. Uzorci nakon 48 sati izlaganja klorovodičnoj kiselini - Hempadur Avantguard 770 | 60 |
| Slika 68. Vrijednosti ispitivanja zarezivanjem mrežice nakon izlaganja u različitim medijima | 62 |

POPIS TABLICA

| | |
|--|----|
| Tablica 1. Podjela korozije [4] | 2 |
| Tablica 2. Podjela IC zračenja [14] | 13 |
| Tablica 3. Usporedba brzine sušenja premaza s obzirom na način sušenja [18] | 15 |
| Tablica 4. Opis stupnjeva pripreme površine mlazom abraziva [27] | 21 |
| Tablica 5. Plan nanošenja i sušenja premaza | 25 |
| Tablica 6. Oznake uzoraka | 28 |
| Tablica 7. Debljina premaza Hempadur 15553 sušenih na zraku | 29 |
| Tablica 8. Debljina premaza Hempadur 15553 sušenih IC zračenjem | 29 |
| Tablica 9. Debljina premaza Hempadur Avantguard 770 sušenih na zraku | 29 |
| Tablica 10. Debljina premaza Hempadur Avantguard 770 sušenih IC zračenjem | 29 |
| Tablica 11. Rezultati ispitivanja tvrdoće olovkama | 30 |
| Tablica 12. Vrijednosti tvrdoće prema Shore D metodi | 31 |
| Tablica 13. Rezultati ispitivanja vlačnom metodom | 33 |
| Tablica 14. Upute za ocjenjivanje ispitivanja zarezivanjem mrežice prema HRN EN ISO 2409 | 35 |
| Tablica 15. Rezultati ispitivanja zarezivanjem mrežice | 36 |
| Tablica 16. Rezultati ispitivanja udarom | 37 |
| Tablica 17. Ponašanje materijala s obzirom na vrijednost E_{ok} [4] | 38 |
| Tablica 18. Parametri ispitivanja | 39 |
| Tablica 19. Vrijednosti E_{ok} prvog dana | 39 |
| Tablica 20. Određivanje stupnja hrđanja [30] | 48 |
| Tablica 21. Postupak ocjenjivanja količine pukotina [31] | 48 |
| Tablica 22. Ocjena ljuštenja [32] | 48 |
| Tablica 23. Rezultati ispitivanja uzoraka u slanoj komori | 49 |
| Tablica 24. Izgled uzoraka prvog, trećeg i sedmog dana ispitivanja | 50 |
| Tablica 25. Izgled ureza nakon sedam dana ispitivanja u slanoj komori | 51 |
| Tablica 26. Ocjena ureza nakon sedam dana ispitivanja u slanoj komori | 51 |
| Tablica 27. Analiza uzoraka izloženih u vlažnoj komori | 54 |
| Tablica 28. Analiza ispitivanja zarezivanjem mrežice nakon izlaganja u vlažnoj komori | 54 |
| Tablica 29. Izgled uzoraka nakon 10 min izlaganja u vodenoj otopini HNO_3 | 56 |
| Tablica 30. Ocjena izgleda uzoraka nakon uranjanja u vodenu otopinu HNO_3 | 57 |
| Tablica 31. Analiza uzoraka nakon 48 sati ispitivanja u vodenoj otopini H_2SO_4 | 58 |
| Tablica 32. Analiza uzoraka nakon 48 sati ispitivanja u vodenoj otopini HCl | 59 |

POPIS OZNAKA

| Oznaka | Jedinica | Opis |
|---------------|-----------------|---------------------------------------|
| c | mm | Stupanj korozije |
| E_{kor} | V | Korozijski potencijal |
| E_{ok} | V | Potencijal otvorenoga strujnoga kruga |
| I_a | A | Jakost struje anode |
| I_k | A | Jakost struje katode |
| I_{kor} | A | Jakost korozijske struje |
| x_{min} | μm | Najmanja debljina premaza |
| x_{max} | μm | Najveća debljina premaza |
| \bar{x} | μm | Srednja vrijednost debljine premaza |
| w_c | mm | Širina zone korozije |
| w | mm | Širina ureza |

POPIS KRATICA

| Kratika | Opis |
|----------------|--|
| BDP | Bruto domači proizvod |
| CVD | <i>Chemical Vapour Deposition</i> |
| DLC | <i>Diamond Like Carbon</i> |
| EIS | Elektrokemijska impedancijska spektroskopija |
| FIR | <i>Far infrared</i> |
| IC | Infracrveno |
| NACE | <i>National Association of Corrosion Engineers</i> |
| NIR | <i>Near infrared</i> |
| MIR | <i>Mid infrared</i> |
| UV | <i>Ultraviolet</i> |
| VCI | <i>Volatile corrosion inhibitor</i> |

SAŽETAK

U teorijskom dijelu rada opisani su organski premazi s naglaskom na mehanizme sušenja. Detaljno je opisana metoda sušenja infracrvenim zračenjem pri čemu su prikazane prednosti i nedostaci te primjeri primjene. Provedena su mehanička ispitivanja i ispitivanja korozijske otpornosti na cinkom bogatom temljenom premazu Hempadur Avantguard 770 i dvokomponentnoj epoksidnoj boji s cinkovim fosfatom Hempadur 15553. Premazi su osušeni na zraku i IC zračenjem. Na temelju dobivenih rezultata doneseni su zaključci o ponašanju svojstava s obzirom na način sušenja.

Ključne riječi: korozija, organski premazi, infracrveno sušenje, premazi bogati cinkom

SUMMARY

In the theoretical part of the paper, organic coatings are described with emphasis on drying mechanisms. The drying method by infrared radiation is described in detail, showing the advantages and disadvantages and examples of application. Mechanical and corrosion resistance tests were performed on zinc-rich Hempadur Avantguard 770 primer and two-component epoxy paint with zinc phosphate Hempadur 15553. The coatings were air-dried and IR dried. Based on the obtained results, conclusions were made about the behavior of the properties concerning the method of drying.

Key words: corrosion, organic coatings, infrared drying, zinc-rich coatings

1. UVOD

Konstruktivski materijali skloni su raznim štetnim procesima trošenja i oštećenja. Među najzastupljenijim mehanizmima trošenja jest korozija. Korozija je nepoželjno trošenje materijala kemijskim ili elektrokemijskim djelovanjem okoline. Prema istraživanju koje je provelo Nacionalno udruženje korozijskih inženjera (*NACE International*) globalni trošak izazvan korozijom procijenjen je na 2,5 bilijuna američkih dolara što odgovara vrijednosti od 3,4 % svjetskog BDP-a. [1,2]

Izuzev ekonomskih troškova, korozija može izazvati i velike havarije koje mogu završiti s ljudskim žrtvama. Iz tog razloga vrlo je važan pravilan izbor materijala te korozivna zaštita inhibitorima, katodna i anodna zaštita te zaštita premazima.

U teorijskom dijelu rada opisane su vrste i mehanizmi korozije, vrste premaza s naglaskom na organske premaze. Opisani su i mehanizmi sušenja s posebnim osvrtom na sušenje pomoću IC zračenja, uređaje za sušenje i primjenu.

U eksperimentalnom dijelu rada uspoređeni su Hempadur 15553 dvokomponentna epoksidna boja i Hempadur Avantguard 770 aktivirani, cinkom bogati epoksidni temeljni premaz sušeni na zraku i IC zračenjem. Provedena su ispitivanja u slanoj i vlažnoj komori, ispitivanje tvrdoće olovkom i Shore D metodom, ispitivanje udarom, ispitivanja prionjivosti zarezivanjem mrežice i vlačnom metodom, određen je potencijal otvorenog strujnog kruga, napravljena je elektrokemijska impedancijska spektroskopija (EIS) te uranjanje u kiseline.

2. KOROZIJA

Korozija je sveprisutni proces razaranja materijala. Na korozivsku otpornost materijala utječe njegov sastav, raspored kristala i vrsta nepravilnosti kristalne rešetke, zaostala naprezanja te kvaliteta površine. Gotovo svi uvjeti u kojima se materijali nalaze su korozivni u nekoj mjeri. Tako utjecaj na koroziju imaju: voda bila ona destilirana ili slana, ruralna, urbana i industrijska atmosfera, prisutnost plinova poput klora, amonijaka, sumporovodika, sumporovog dioksida kao i kiselina poput kloridne, sumporne, dušične, octene i mravlje te lužine, sastav i vrsta tla. Osim kemijskih čimbenika na koroziju utječe i pojava galvanskih struja koje ubrzavaju proces korozije. Ipak najveći efekt na koroziju imaju visoke temperature i tlakovi te brzina strujanja medija. [3,4]

2.1 Klasifikacija korozije

Podjela korozije prikazana je u tablici 1:

Tablica 1. Podjela korozije [4]

| Mehanizam procesa | Geometrija razaranja |
|--------------------------|-------------------------|
| Elektrokemijska korozija | Opća korozija |
| Kemijska korozija | Galvanska korozija |
| | Korozija u procjepu |
| | Rupičasta korozija |
| | Selektivna korozija |
| | Erozijska korozija |
| | Napetosna korozija |
| | Interkristalna korozija |

2.1.1 Vrste korozije s obzirom na mehanizam procesa

2.1.1.1 Kemijska korozija

Kemijska se korozija odvija u medijima koji ne provode električnu struju. Rezultat reakcije je spoj metala s nemetalnim elementima. Ovu vrstu korozije izazivaju organske tekućine koje ne sadrže vodu i vruće plinove. Također, ovaj oblik korozije pojavljuje se u uvjetima visoke temperature kao što su kotlovska postrojenja i peći, ispušne peći te obrade materijala pri povišenim temperaturama. [4]

2.1.1.2 Elektrokemijska korozija

Elektrokemijska korozija odvija se u otopinama koje provode struju. To je redoks-proces koji se sastoji od:

- oksidacije metala u slobodni metalni ion i
- redukcije oksidansa koja može biti vodikova ili kisikova.

Ova se vrsta korozije odvija stvaranjem galvanskog članka između elektrolita i metala poradi razlike potencijala. [4]

2.1.2 Vrste korozije s obzirom na geometriju razaranja

2.1.2.1 Opća korozija

Opća korozija najčešći je pojavni oblik korozije. U pravilu, ova je vrsta korozije izazvana kemijskom ili elektrokemijskom reakcijom koja se zbiva na velikoj površini. Ravnomjerni napad materijala uzrokuje najveće uništenje površine, no vijek trajanja konstrukcije zahvaćene ovim oblikom korozije vrlo se lako može predvidjeti. Sprečavanje i smanjenje pojave opće korozije postiže se izborom odgovarajućeg materijala, premazivanjem njegove površine, primjenom inhibitora ili katodne zaštite. [3] Na slici 1 prikazan je primjer opće korozije cestovne ograde u planini uzrokovane nekvalitetnim premazivanjem tijekom popravka.



Slika 1. Opća korozija [5]

2.1.2.2 Galvanska korozija

Galvanska korozija nastaje prilikom kontakta dvaju metala različitih potencijala u elektrolitu pri čemu korozivniji metal manje korodira. On predstavlja katodu dok je manje otporan metal anoda. Zahvaljujući ovakvom reakcijskom mehanizmu ova se vrsta korozije još naziva i bimetalna korozija. Bimetalna korozija može se smanjiti odabirom metala koji imaju što manju razliku potencijala, izbjegavanjem efekta male anode i velike katode, apliciranjem premaza, korištenjem inhibitora, konstruiranjem što debljih anodnih dijelova i pozicioniranjem na što dostupnija mjesta za njihovu zamjenu te dodavanjem trećeg metala koji predstavlja anodu za oba metala u galvanskom članku. Na slici 2 prikazana je galvanska korozija cijevi sustava za opskrbu plinom napravljenom od temper lijeva koja je bila spojena s bakrenom cijevi.



Slika 2. Galvanska (bimetalna) korozija [5]

2.1.2.3 Korozija u procjepu

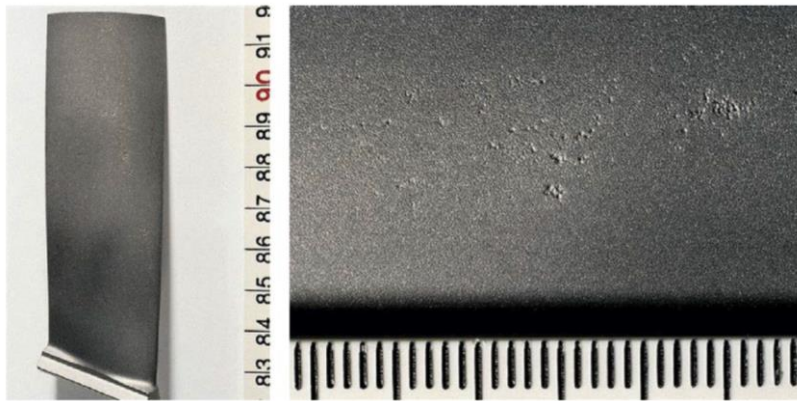
Korozija u procjepu pojavljuje se, kako joj i ime govori, unutar pukotina na metalnim površinama koje su izložene korozivnim medijima. Ovaj se oblik korozije često pojavljuje na brtvama, preklopnim spojevima, između glava vijaka i zakovica. Prevencija korozije u procjepu očituje se korištenjem zavarenog spoja umjesto spoja zakovicama ili vijčanog spoja te zatvaranjem procjepa kontinuiranim zavarivanjem, brtvljenjem ili lemljenjem. [3] Na slici 3 prikazan je hidraulični cilindar izrađen od pocinčanog čelika koji je ljepilom bio spojen na čeličnu cijev. Uzrok korozije je vlaženje cinkovog premaza zbog toga što je cink vrlo osjetljiv na koroziju u procjepu.



Slika 3. Korozija u procjepu [5]

2.1.2.4 Rupičasta korozija

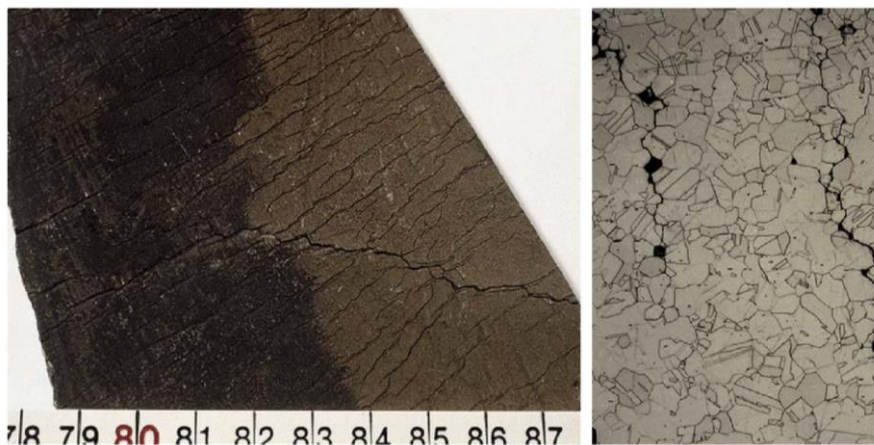
Za rupučastu je koroziju karakterističan lokaliziran napad u obliku rupa u metalu. Ovu vrstu korozije teško je otkriti zbog toga što su rupe vrlo male te ju je radi toga teško mjeriti, ali i spriječiti. Prevencija rupučaste korozije ista je kao i kod korozije u procjepu, a ponekad je moguća i primjena inhibitora te apliciranje premaza. [3] Na slici 4 prikazana je lopatica kompresora koja je bila izložena morskoj atmosferi. Prisutnost klorida uzrokovala je pojavu rupučaste korozije.



Slika 4. Rupučasta korozija [5]

2.1.2.5 Intekristalna korozija

Interkristalna korozija lokalizirani je napad na granice zrna. Ona može biti uzrokovana nečistoćama, obogaćivanjem ili osiromašenjem nekog od legiranih elemenata po granicama zrna. Pojavljuje kod nehrđajućih čelika prilikom smanjenja udjela kroma oko granica zrna. Prevencija ovog tipa korozije jest legiranje karbidotvorcima te minimizacija udjela ugljika. [3] Na slici 5 prikazana je interkristalna korozija separatora magle.



Slika 5. Intekristalna korozija [5]

2.1.2.6 Selektivna korozija

Mehanizam selektivne korozije temelji se na trošenju nekog elementa u višekomponentnom materijalu. Najpoznatiji primjeri selektivne korozije su grafitizacija sivog lijeva i decinkacija mjedi. Katodna zaštita i legiranje najbolji su načini za sprečavanje ovog tipa korozije. [3] Na slici 6 prikazana je plinovodna cijev napravljena od sivog lijeva. Prisutnost sulforeducirajuće bakterije potaknula je grafitizaciju.



Slika 6. Selektivna korozija – grafitizacija [5]

2.1.2.7 Erozijska korozija

Erozijska korozija propadanje je metala uzrokovano paralelnim djelovanjem korozije i mehaničkog trošenja u obliku erozije. Često se pojavljuje na mjestima kao što su utori i zaobljene rupe, cjevovodi te dijelovi izmjenjivača topline. Njenu pojavu teško je predvidjeti s obzirom na to da je potrebno vrlo malo vremena za propagaciju, a samo njeno djelovanje odvija se dinamički dok se ispitivanja provode pod statičkim uvjetima. Konstruiranje odgovarajućeg oblika i pravilan izbor materijala prvi su koraci u sprečavanju erozijske korozije. Nanošenje premaza i katodna zaštita smanjuju napad erozijske korozije, a oštećena se površina često popravlja zavarivanjem. [3] Na slici 7 prikazan je primjer ove vrste korozije na cijevi u kemijskom postrojenju uzrokovane kombinacijom visokih brzina i prisutnosti klorovodične kiseline.



Slika 7. Erozijska korozija [5]

2.1.2.8 Napetosna korozija

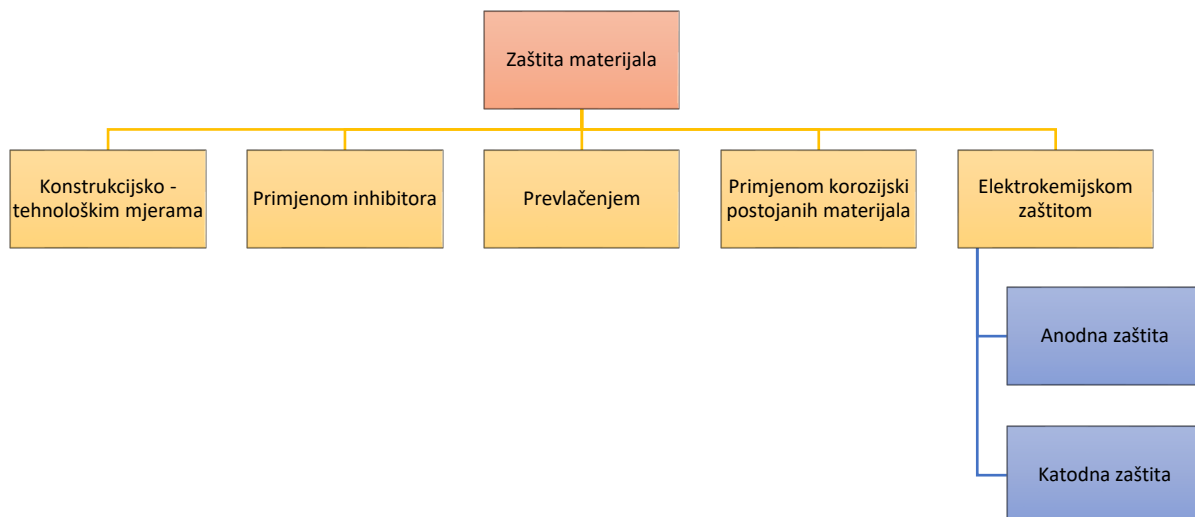
Napetosna se korozija pojavljuje u uvjetima vlačnog napreznja materijala koji se nalazi u korozivnom mediju. Katodna je zaštita najbolji mehanizam sprečavanja ovog tipa korozije. Također, materijal se može podvrgnuti žarenju za redukciju zaostalih napreznja. Štiti se i dodavanjem inhibitora, a ponekad se koristi premazivanje. [3] Na slici 8 prikazan je primjer napetosne korozije na cijevi od aluminijske bronce uzrokovane napreznjima i amonijakom.



Slika 8. Napetosna korozija [5]

2.2 Prevencija od korozije

Metode protekcije od korozije temelje se uklanjanju utjecaja nastanka korozije ili povećanju otpora prema djelovanju korozijskog procesa. Podjela metoda zaštite materijala prikazana je slikom 9.



Slika 9. Podjela metoda zaštite materijala

3. Zaštita od korozije prevlačenjem

Zadaća prevlaka jest održavanje funkcionalne sposobnosti konstrukcija u uvjetima opterećenja, održavanja i transporta. Također, prevlake mogu imati i zadaću u očuvanja estetskog izgleda. Prevlake se mogu podijeliti na metalne i nemetalne. Nemetalne prevlake mogu biti organske ili anorganske. U nastavku rada detaljnije će biti obrađeni organski premazi. [4,6]

3.1 Organski premazi

Organski premazi sastoje se od otapala, veziva, pigmenta, aditiva i punila. Otapalo posjeduje ulogu otapanja smole, kontrolu viskoznosti premaza, stvaranja i prijanjanja filma te utječe na trajnost premaza. Uloga smole je adhezivno vezanje premaza na podlogu nakon što otapalo ispari, a premaz očvrstne. Ona osigurava korozijsku otpornost premaza. Pigment osigurava boju i neprozirnost čime se štiti smola od utjecaja UV zračenja. Također, on može i direktno štiti od korozije. Aditivi i punila osiguravaju ujednačenost premaza i poboljšavaju protok, sušenje nakon ponovnog bojanja te smanjuju propusnost vode i kisika. Učinkovitost premaza temelji se na mehaničkim svojstvima sustava premaza, prethodnoj obradi površine i adheziji premaza na metalnu bazu. Od premaza se očekuje mala propusnost, dobra korozijska postojanost te dobar estetski izgled kroz dulje vrijeme kako bi se opravdali troškovi. Istodobno mogu ispunjavati posebne zahtjeve kao što su električna izolacija, zaštita od mikroorganizama te požara. Zaštita premazivanjem obično se izvodi kao sustav premaza kao što je prikazano slikom 10. [7,8,9]



Slika 10. Sustav premaza

Zadaća temeljnog sloja jest dobra adhezija premaza na podlogu i sprečavanje korozije. Njegove su karakteristike dobra prionjivost, kohezija, inertnost i elastičnost. Uloga međuslojeva jest osiguravanje debljine sustava, nepropusnost, kemijska otpornost te veza između temeljnog i završnog sloja. Završni sloj štiti od utjecaja okoline i sprečava trošenje, no njegova je zadaća i osiguravanje estetskog izgleda. [10]

Podjela organskih premaza vrši se prema nekoliko kriterija:

1. sastavu,
2. osnovnoj namjeni,
3. izgledu,
4. podlogama na koje se aplicira,
5. broju sastojka,
6. ulozi premaza u sustavu,
7. mehanizmu sušenja. [5]

3.1.1 Podjela organskih premaza prema sastavu

Organski se premazi najčešće dijele prema vrsti veziva. Najčešću primjenu u industriji imaju: sušiva ulja, alkidne smole, nezasićene poliesterske smole, epoksidne smole, poliuretani, vinilne smole, akrilatna veziva, fenolplasti i aminoplasti, silikonske smole, etilsilikati, klorkaučuk te bitumeni i katranske smole. Osim toga, premazi se mogu podijeliti i prema vrsti otapala ili pigmentata. [5]

3.1.1.1 Akrili

Akrilni premazi su termoplastični spojevi otopljeni u organskim otapalima ili dispergirani kao emulzije u vodi. Za premaze na bazi organskih otapala karakteristična je otpornost na vremenske utjecaje i visoki stupanj sjaja. S druge strane, premazi na bazi vode su manje toksični i nezapaljivi te se lakše čiste. Akrilatna veziva posjeduju dobra mehanička svojstva, otpornost na UV svjetlo, kemijsku postojanost u vodi, razrijeđenim kiselinama i lužinama. Akrilni se premazi koriste u automobilskoj industriji, a imaju i široku primjenu u kućanstvu za betonske i drvene površine. [4,7]

3.1.1.2 Alkidi

Alkidne su smole smjese alkohola i karbonskih kiselina. Alkidni premazi stvrdnjavaju oksidacijom i isparavanjem uljnog otapala. Optimalno vrijeme sušenja i dobra kemijska otpornost postižu se primjenom sojinog ulja. Radi niske cijene primjenjuju su i u kućanstvima i u industriji za zaštitu od atmosfere korozije. Modificiranje silikonom poboljšava trajnost, otpornost na vlagu i toplinu te zadržavanje sjaja, dok su premazi s dodatkom fenola pogodni za primjenu u vodi. [7]

3.1.1.3 Poliuretani

Poliuretani su spojevi izocijanata i viševalentnih alkohola. Poliuretanski premazi mogu biti jednokomponentni i dvokomponentni, no češće se primjenjuju dvokomponentni poliuretani koji imaju dobru otpornost na trošenje te postojanost na suncu i temperaturama do 170 °C. Posebnu važnost ima poliurea koja je spoj izocijanata i amina, a primjenjuje se za zaštitu cjevovoda. [4]

3.1.1.4 Epoksidi

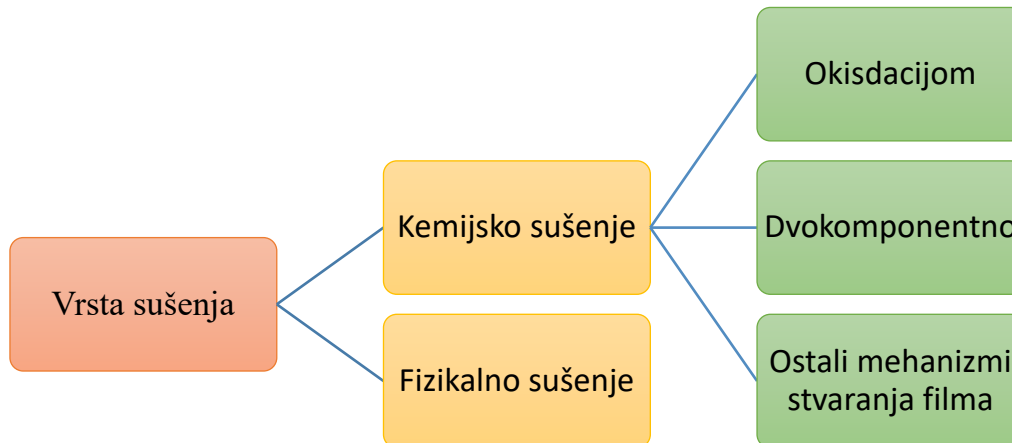
Epoksidi su duromerni premazi koji nastaju miješanjem smole i sredstva za otvrdnjavanje, pigmenta i otapala. Uglavnom nastaju reakcijom epiklorhidrina i bisfenol acetona, dok je sredstvo za otvrdnjavanje ili poliamin ili poliamid koji kopolimerizira s epoksidnom smolom. Ukoliko se koristi poliamin, premaz je čvršći i otporniji na kemikalije. S druge strane, uporabom poliamida premaz je otporan na vodu, ali ima blago smanjenu otpornost na kemikalije. Epoksidni su premazi visoko umreženi i nereaktivni što nosi za posljedicu da ih je zahtjevno premazati ili prepraviti. U industriji, epoksidne smole dolaze kao jednokomponentni ili dvokomponentni premazi. Epoksidi s dodatkom katrana kao punilom imaju bolju otpornost na vlagu uz dobro prijanjanje i čvrstoću, otporniji su na UV zračenje i toplinski su stabilni. Epoksi – fenolni premazi otporni su na kiseline i lužine zbog čega se koriste kao premazi za spremnike i procesnu opremu. [7]

3.1.1.5 Cinkom bogati premazi

Premazi bogati cinkom sadrže do 95 % cinka u suhom filmu. Njegovom se upotrebom galvanski štiti površina stoga čestice cinka moraju biti u kontaktu s podlogom kako bi premaz bio vodljiv te spriječio koroziju katodnom zaštitom. Da bi se postigao galvanski proces između čelika i cinkom bogatog premaza moraju biti zadovoljena tri uvjeta: čestice cinka u premazu moraju međusobno biti u kontaktu, također one moraju biti u električnom kontaktu i s čelikom te između čestica cinka i čelika mora postojati elektrolit. Cink se pokazao kao odličan inhibitor atmosferski uzrokovane korozije. Organski premazi bogati cinkom zahtijevaju hrapaviju obradu površine na koju se nanose. Ovi premazi imaju odličnu prionjivost, otpornost na abrazijsko i adhezijsko trošenje. Zbog ovakvih se svojstava primjenjuju u agresivnim atmosferama. Nanošenje temeljnog sloja bogatom cinkom karakteristično je za transformatore, trupove broda, mostove i opremu kemijskih postrojenja. [7,11]

3.1.2 Vrste premaza s obzirom na mehanizam sušenja

Podjela premaza prema mehanizmu sušenja prikazana je slikom 11.



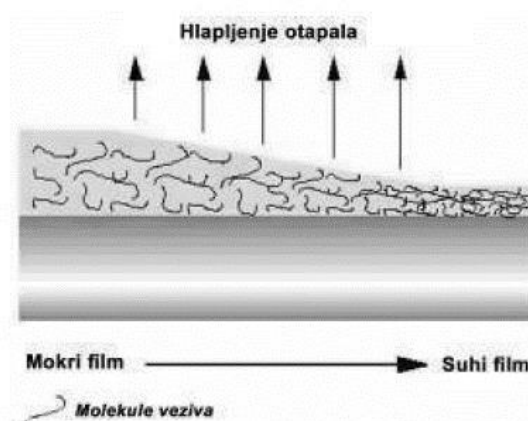
Slika 11. Podjela premaza na temelju mehanizma sušenja

3.1.2.1 Fizikalno sušenje

Kod ovog mehanizma sušenja, premaz se suši hlapljenjem otapala koje se odvija u tri koraka:

1. brzo hlapljenje otapala s površine,
2. hlapljenje otapala difuzijom kroz slojeve polimerne otopine,
3. hlapljenje preostalog otapala u filmu.

Proces fizikalnog sušenja prikazan je na slici 12.



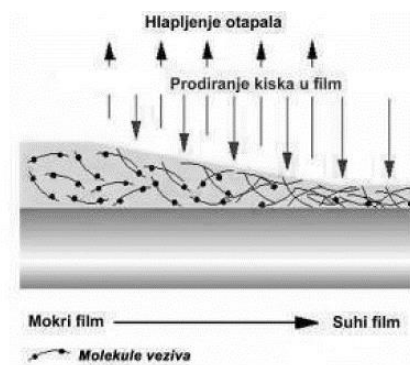
Slika 12. Fizikalno sušenje [4]

Ovaj mehanizam sušenja koristi se za visokomolekulske termoplastične polimere poput klorkaučuka, vinilne i akrilne smole te bitumena. [4]

3.1.2.2 Kemijsko sušenje

3.1.2.2.1 Oksidacijsko sušenje

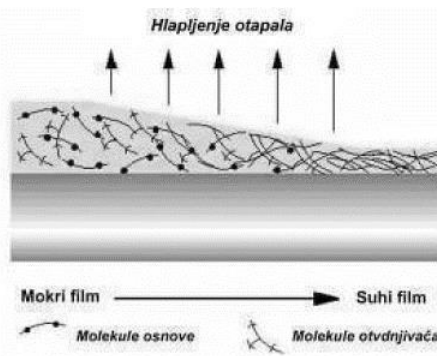
Ovim mehanizmom sušenja film se formira hlapljenjem otapala te reakcijom veziva s kisikom (slika 13). Za oksidacijsko sušenje vrlo je važna temperatura pa se radi ubrzavanja procesa dodatno koriste katalizatori. Primjena ove vrste sušenja je kod alkida, uretan – alkida te epoksi – estera. [4]



Slika 13. Oksidacijsko sušenje premaza [4]

3.1.2.2.2 Dvokomponentno sušenje

Dvokomponentno je sušenje specifično za premaze načinjene od baze i sredstva za otvrdnjavanje. Proces sušenja sastoji se od hlapljenja otapala i reakcije veziva sa sredstvom za otvrdnjavanje (slika 14). Otvrđnjavanje ovim procesom specifično je za epokside i poliuretane.



Slika 14. Dvokomponentno sušenje [4]

3.1.2.2.3 Druge reakcije polimerizacije

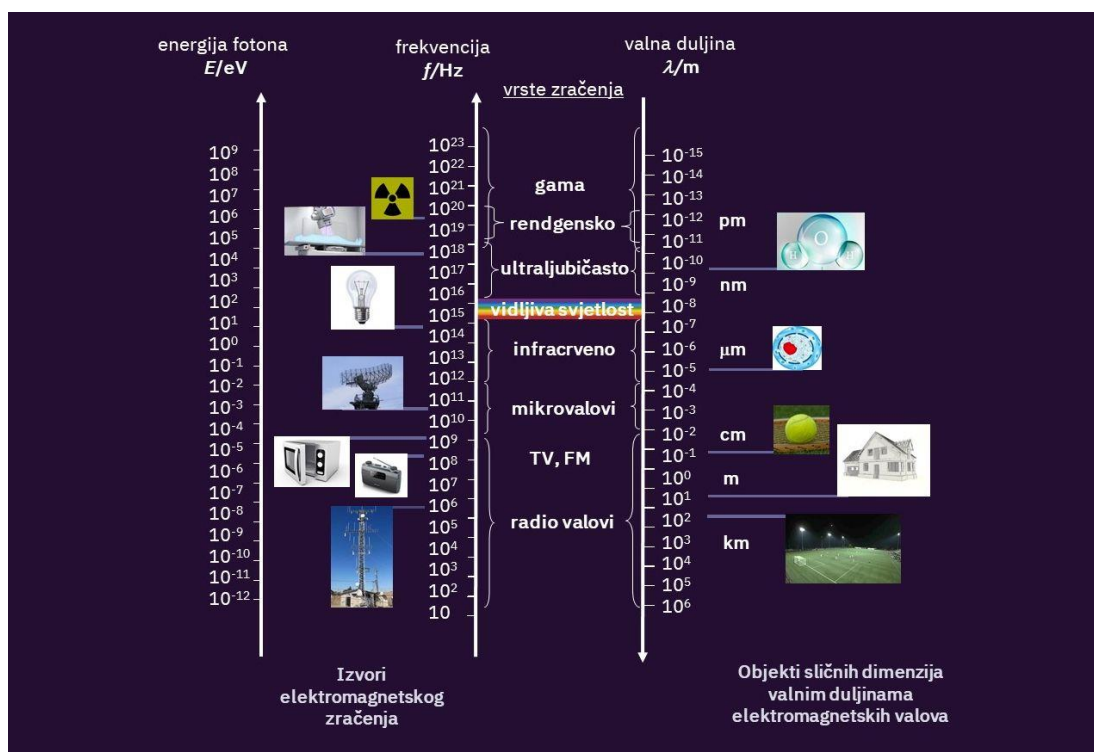
Premaz može otvrdnuti i reakcijom veziva i vlage (1K-PUR) ili veziva i ugljikovog dioksida (silikati). Osim toga, neki se premazi suše lančanom reakcijom polimerizacije pri temperaturama oko 200 °C. [4]

4. IC sušenje premaza

Industrija danas zahtjeva što brži, što jeftiniji i što kvalitetniji način proizvodnje. Zbog toga je nastala potreba za razvijanjem novih mehanizama sušenja kako bi se spor proces konvencionalnog sušenja na zraku mogao ubrzati. Jedan od optimalnih načina sušenja pokazalo se sušenje pomoću infracrvenog zračenja.

4.1 Karakteristike IC zračenja

Infracrveno zračenje dio je elektromagnetskog spektra zračenja koje nije vidljivo ljudskim okom, no možemo ga osjetiti kao toplinu. [12] Položaj IC zračenja na elektromagnetskom spektru prikazan je na slici 15.



Slika 15. Elektromagnetski spektar zračenja [13]

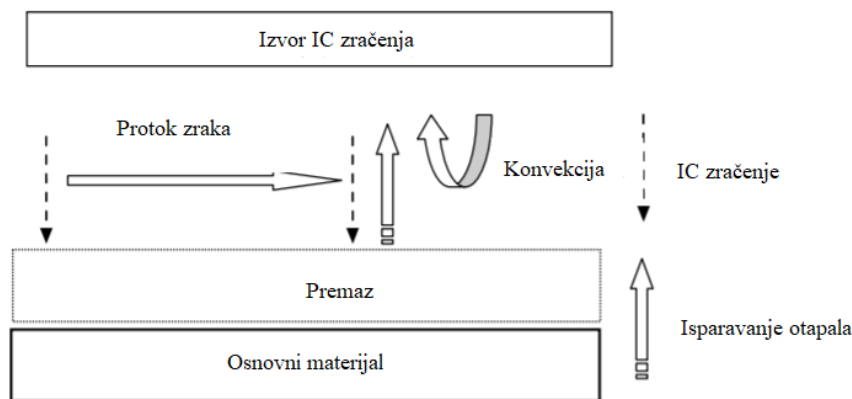
Podjela područja infracrvenog zračenja prema normi ISO 20473 prikazana je u tablici 2.

Tablica 2. Podjela IC zračenja [14]

| Oznaka zračenja | Kratice | Valna duljina [nm] | Frekvencija [THz] |
|---------------------|---------|--------------------|-------------------|
| Blisko IC zračenje | NIR | 780 – 3000 | 385 – 100 |
| Srednje IC zračenje | MIR | 3000 – 50 000 | 100 – 6 |
| Daleko IC zračenje | FIR | 50 000 - 10^6 | 6 – 0,3 |

4.2 Mehanizam infracrvenog sušenja premaza

Sušenje i otvrdnjavanje premaza odvija se apsorpcijom energije koju zrači izvor topline specifične valne duljine. Brzina sušenja ovisi o temperaturi izvora zračenja te sposobnosti materijala da upije zračenje. Za visokotemperaturni izvor karakteristično je kratkovalno zračenje s visokim intenzitetom, no kako se temperatura smanjuje val postaje sve dulji i sve slabijeg intenziteta. Materijali različito apsorbiraju različite frekvencije. Većina premaza zahvaljujući kemijskom sastavu i karakteristikama vrlo dobro upija infracrveno zračenje. Ono ulazi u sloj premaza što potiče isparavanje otapala. Prednost ovakvog sušenja jest to što se ono može usmjeriti na točno određeno mjesto premaza što može biti vrlo korisno prilikom popravka. Shema sušenja premaza IC zračenjem prikazana je na slici 16.



Slika 16. Shema mehanizma IC sušenja premaza [15]

Parametri koji utječu na uspješnost zagrijavanja površine i postizanje određene temperature su:

- kut zračenja,
- udaljenost grijača od predmeta kojeg se suši,
- spektar zračenja koji se primjenjuje,
- količina, sastav i svojstva pigmentata,
- čvrstoća premaza,
- toplinska vodljivost materijala te
- debljina stijenke predmeta koji je izložen zračenju.

Kompleksna geometrija predmeta predstavlja velik izazov za sušenje grijačima jer do nekih područja zrake ne mogu doprijeti no ukoliko se premaz nanosi na metale s visokim koeficijentom toplinske vodljivosti kao što su aluminij i čelici, ovaj problem nije toliko izražen.

Glavne prednosti IC sušenja u odnosu na konvencionalne metode sušenja toplim zrakom su poboljšana energetska učinkovitost, veće stope proizvodnje, ušteda prostora, precizna kontrola, niži zahtjevi za održavanje te poboljšana kvaliteta proizvoda. Glavni nedostaci su potreba za određivanjem individualnih udaljenosti grijača i predmeta ovisno o parametrima sušenja, prebrzo isparavanje može uzrokovati stvaranjem mjehura u premazu, visoki investicijski i operativni troškovi te zahtjevno odvođenje topline. [16, 17, 18]

4.3 Uređaji za sušenje IC premaza

Uređaji za infracrveno sušenje premaza mogu se podijeliti u dvije kategorije. Prema izvorima infracrvenog zračenja oni se dijele na plinske i električne, dok se prema duljini emitiranih valova dijele na kratke, srednje i duge emitere. U tablici 3 prikazano je prosječno vrijeme trajanja sušenja izraženo u sekundama za pojedine premaze različitim metodama sušenja. Kao što je vidljivo, sušenje bliskim infracrvenim zrakama, brže je od konvencionalnih postupaka infracrvenog sušenja, no i jedna i druga metoda puno su brže od sušenja na toplom zraku. [16]

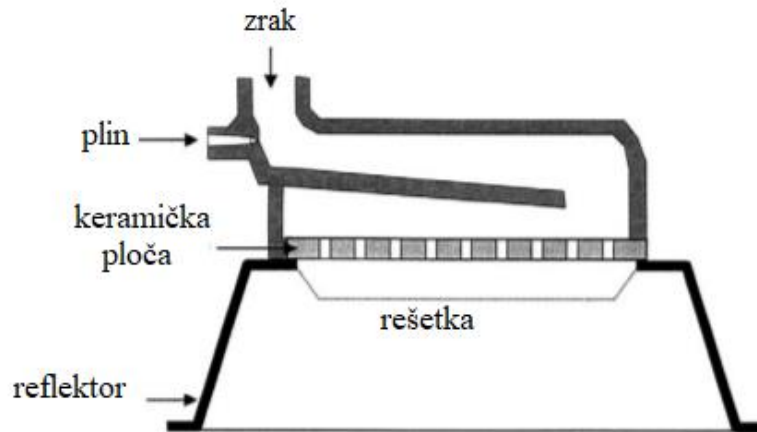
Tablica 3. Usporedba brzine sušenja premaza s obzirom na način sušenja [19]

| Vrsta premaza | NIR | IR | Vrući zrak |
|------------------------------|-----------|----------|------------|
| Praškasti premazi | 1 – 30 | 30 – 300 | 120 – 1200 |
| Industrijski premazi | 1 – 8 | 30 – 600 | 60 – 1200 |
| Premazi za drvo | 2 – 6 | 15 – 60 | 30 – 300 |
| „coil coating“ male debljine | 0,5 – 1,5 | 8 – 12 | 15 – 25 |
| „coil coating“ veće debljine | 1,5 – 3 | 12 – 15 | 25 – 40 |

Uređaji za NIR sušenje stvaraju temperature filameta do 3500 K i intenzitet topline do oko 1000 kW/m². Gustoća energije koju širi jednostrano zračenje je do 170 MW/m². Prosječni radni vijek jednog emitera je od 5000 do 6000 sati što znači da je potrebna zamjena jednom godišnje. [19]

4.3.1 Plinski uređaji za IC sušenje

Ovi uređaji rade na principu miješanja zraka i plinova u glavi plamenika čime se postiže povišenje temperature keramičke ploče koja emitira zračenje. Temperatura te ploče kreće se između 1500 °C i 1700 °C. Učinkovitost zračenja koja se postiže ovim uređajima je do 60 %. Skica uređaja prikazana je na slici 17.

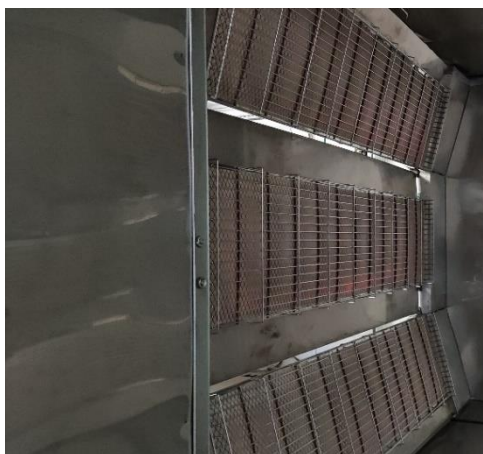


Slika 17. Plinski uređaj za IC sušenje [20]

Jedna vrsta plinskih uređaja temelji se na tehnologiji katalitičkog grijača bez plamena. Izvor grijanja je gorivo koje se dovodi kroz prethodno zagrijan katalizator obložen platinom gdje se odvija reakcija čiji je produkt toplina. Ta toplina izlazi iz katalizatora u obliku energije. Nusprodukti ove reakcije su vodena para i ugljikov dioksid. Značajna prednost ove tehnologije jest to što katalitički grijači uglavnom ne zahtijevaju održavanje pa se time smanjuju troškovi. Nadalje, za grijanje se može koristiti prirodni plin ili propan kako bi grijanje bilo što učinkovitije. S ekološkog stajališta, ova tehnologija je prihvatljivija od tehnologije izgaranja, a i učinkovitost grijanja je veća jer se energija usmjerava na proizvod, a ne na okolni zrak. Jedan od proizvođača ovakve tehnologije je Netek čiji se paneli nalazi se u tvrtki Končar – Metalne konstrukcije na kojima je izrađen eksperimentalni dio ovog rada. Njihovi uređaji rade na principu emisije zraka valnih duljina između 2 i 10 mikrometara, dok je za premaze najbolji raspon između 6 i 8 mikrometara. Zbog vrlo dobre preciznosti energija se ravnomjerno prenosi na površinu te se time povećava umrežavanje, a posljedično ubrzava proces sušenja. Također, ovaj uređaj zadovoljava sve kriterije za primjenu u eksplozivnim atmosferama što proširuje mogućnost njegove uporabe. Primjer jedne takve komore dan je na slici 18, a slike 19 i 20 prikazuje izgled trenutnog prototipa u Končaru. [21, 22, 23]



Slika 18. Komora za katalitičko IC sušenje premaza [23]



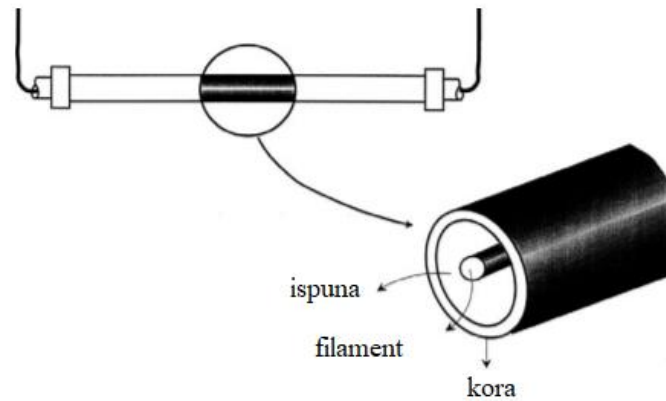
Slika 19. Prototip INFRACAT-a u tvrtki Končar – Metalne konstrukcije



Slika 20. Sustav za dovod plina u tvrtki Končar – Metalne konstrukcije

4.3.2 Električni uređaji za IC zračenje

Ova tehnologija može proizvesti valove sva tri područja infracrvenog spektra. Izvor električnog zračenja je struja koja teče kroz otpornu cijev što se naziva Jouleov efekt. Skica takvog uređaja prikazana je na slici 21.



Slika 21. Skica uređaja za električno IC zračenje [20]

Primjenom volframovog filameta možemo dobiti kratku valnu duljinu koja stvara površinsku temperaturu između 1650 °C i 2200 °C, dok nikromirani filament daje srednju valnu duljinu temperature od 980 °C do 1100 °C. Filamenti se uglavnom nalaze u kvarcnoj cijevi. Duga valna duljina se u pravilu ne primjenjuje zbog toga što je do najviše 50 % energije moguće pretvoriti u infracrveno zračenje, dok je ostatak energije preusmjeren na konvekcijsko zagrijavanje. Na slici 22 nalazi se jedna takva komora za sušenje. [20, 22, 24]



Slika 22. Električno IC sušenje u autoindustriji [24]

4.4 Svojstva IC sušenih premaza

Sušenje premaza infracrvenim zračenjem pogodno je za premaze i lakove na bazi vode jer unosom topline znatno se ubrzava isparavanje vode što ubrzava proces sušenja. Ova činjenica nije dobra za sve vrste premaza jer ukoliko je otapalo tvar koja šteti ljudskom organizmu, njeno ubrzano isparavanje može štetiti radnicima u postrojenju. Ovakav mehanizam sušenja koristi se i za praškaste premaze koji otvrdnjavaju pod utjecajem topline. Infracrveno zračenje pogodno djeluje na njihova estetska svojstva u vidu premaza visokog sjaja koji mogu ovim postupkom umrežavanja postići još veći sjaj. Boja premaza isto tako ima vrlo važnu ulogu u procesu otvrdnjavanja. Crni premazi teže upijaju energiju, dok se zračenje na bijelim premazima reflektira. Zbog toga vrlo je važno pravilno postaviti parametre uređaja za sušenje kako bi ono bilo učinkovito. Greške koje se mogu desiti radi ubrzanog sušenja su rupe u premazu i bubrenje ukoliko dođe do umrežavanja vanjskog sloja prevlake, a temeljni sloj još nije suh, stoga je važno usmjeriti sušenje iznutra prema van. [22, 25]

4.5 Trendovi i razvoj sušenja premaza IC zračenjem

Razvoj opreme temelji se na bliskom infracrvenom zračenju (NIR) jer se njegov spektar pokazao najboljim za ovu primjenu. Teži se što većoj uštedi energije, a time i povećanju njenog stupnja iskorištenja, zatim smanjenju emisije ugljikovog dioksida te što manjem isparavanju VOC-a (hlapljivih organskih spojeva). Nadalje, poboljšavaju se i premazi u vidu dodavanja pigmentata koji poboljšavaju upijanje IC zračenja i ubrzavaju proces sušenja. Sušenje premaza infracrvenim zračenjem pronalazi primjenu u automobilskoj (slika 23), energetske, pomorske i naftnoj industriji, brodogradnji te industriji čelika i metala.



Slika 23. IC sušenje premaza automobila [26]

5. Postrojenje za nanošenje i sušenje premaza u tvrtki Končar – Metalne konstrukcije

Prvi korak kod premazivanja predmeta je priprema površine na koju će se premaz nanijeti. Potrebno je otkloniti sve nečistoće s površine kao što su korozijski produkti, čađa i masne tvari. Sastoji se od odmašćivanja, mehaničkih i kemijskih operacija. Odmašćivanje se može provesti organskim otapalima, razrjeđivačima te mlazom vodene pare. Kemijsko čišćenje odnosi se na uklanjanje tragova korozije kiselinama. Mehaničko čišćenje primjenjuje se za uklanjanje produkata korozije i nepravilnosti koje su nastale zavarivanjem. U industrijskim uvjetima najviše se koristi čišćenje mlazom abraziva, odnosno sačmarenje kod kojeg kinetička energija čestica u trenutku sudara s površinom uklanja neželjene produkte s površine. Sačmarenje se izvodi pomoću pištolja kroz kojeg izlaze abrazivne čestice koje se usmjeruju na površinu. Prašina i čestice sačme se filtriraju i čestice koje zadovoljavaju uvjete vraćaju se u sustav za ponovnu upotrebu. U ovom pogonu cirkulira 12 tona sačme koja se po potrebi dopunjuje svježim česticama. Zbog velikog udjela prašine, radnici moraju biti dobro zaštićeni u pogonu te je sam pogon za čišćenje odvojen od ostatka proizvodnog sustava. Dio pogona prikazan je na slici 24.



Slika 24. Pogon za sačmarenje u tvrtki Končar - Metalne konstrukcije

Površina se priprema sukladno normi HRN EN ISO 8501-1:2007, a stupnjevi pripreme i kvalitete prikazani su u tablici 4.

Tablica 4. Opis stupnjeva pripreme površine mlazom abraziva [27]

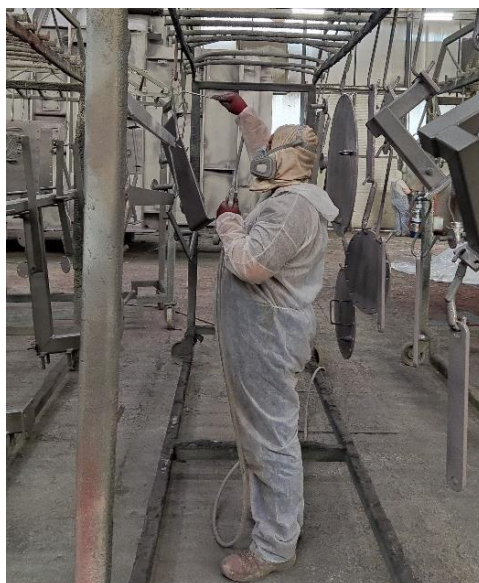
| | |
|---------------|--|
| Sa 1 | Lagano čišćenje mlazom abraziva |
| | Na površini se ne smije vidjeti ulje, masnoća i nečistoće te hrđa, premaz ili strano tijelo. |
| Sa 2 | Temeljito čišćenje mlazom abraziva |
| | Na površini se ne smije vidjeti ulje, masnoća i nečistoća te na njoj smije biti prisutna tek neznatna količina hrđe, premaza ili stranih tijela. Može bitna onečišćenja u tragovima moraju čvrsto prijanjati uz podlogu. |
| Sa 2,5 | Vrlo temeljito čišćenje mlazom abraziva |
| | Na površini se ne smije vidjeti ulje, masnoća i nečistoće te na njoj ne smije biti prisutna hrđa, premazi ili strana tijela. Bilo koji ostali tragovi onečišćenja smiju se pojaviti samo u obliku laganih mrlja kao pjege ili pruge. |
| Sa 3 | Čišćenje mlazom abraziva do čistog čelika |
| | Na površini se ne smije vidjeti ulje, masnoća i nečistoće te na njoj ne smije biti prisutna hrđa, premaz ili strano tijelo. Površina mora imati jednoobraznu metalnu boju. |

Postizanje odgovarajuće čistoće i hrapavosti vrlo je važno za prionjivost premaza na podlogu. Nakon čišćenja površine slijedi zamješavanje premaza točno određenog masenog ili volumnog sastava. Komponente premaza moraju biti ispravno skladištene u pogonu kako ne bi došlo do gubitka svojstava, ali i ukoliko su eksplozivne komponente ili po ljudskom zdravlju štetne. Premazi se mogu miješati ručno ili strojno. Skladištene spremnike komponenata i uređaj za miješanje prikazan je na slici 25.



Slika 25. Skladištenje premaza i uređaj za miješanje

Premazi se najčešće nanose kistovima, valjcima, prskanjem ili uranjanjem. Kistovi se koriste u uvjetima kada je problematičan protok zraka te postoji opasnost od eksplozije. Njihova primjena u tvrtki je kod nanošenja premaza za *offshore* postrojenja, osobito na područja oko zavara koja su teško dostupna za nanošenje pištoljima, a vrlo ih je važno pravilno zaštititi. Glavni nedostatak primjene kistova je ostavljanje tragova. Zračni pištolji koriste se zbog brzog nanošenja premaza, no vrlo je bitno da to izvode posebno educirani radnici jer može doći do grešaka prilikom nepravilnog apliciranja. Nanošenje premaza zračnim prskanjem prikazano je na slici 26.



Slika 26. Nanošenje premaza zračnim prskanjem

Nakon što se aplicira premaz, potrebno ga je osušiti kako ne bi došlo do njegovog oštećenja te kako bi njegov transport bio siguran. Zbog potrebe za ubrzavanjem procesa sušenja radi nedostatka prostora i smanjenjem gubitka vremena, trenutno se testira sustav za infracrveno sušenje premaza o kojem je ranije bila riječ. Nakon završetka sušenja provodi se kontrola kvalitete površine te ukoliko nije zadovoljena kvaliteta, predmet se vraća u pogon na popravak. Način kontrole kvalitete premaza na teško dostupnim mjestima vidljiv je na slici 27, dok su na slikama 28 i 29 prikazane greške površine koje je potrebno popraviti.



Slika 27. Kontrola kvalitete nanošenja premaza na teško dostupnom mjestu



Slika 28. Nepravilnosti na površini



Slika 29. Razlijevanje premaza

Za svaki proizvod postoji dokumentacija od njegovog početka u bravariji do površinske obrade u kojoj su svi parametri strojne obrade, zavarivanja te nanošenja premaza. Sa strane nanošenja premaza parametri koji se bilježe su broj nanesenih slojeva, omjer miješanja komponenata, operater, kontrola mjera, okolišni uvjeti, eventualni popravci te greške na predmetu.

Nakon što je predmet zadovoljio sve kontrole, spreman je za pripremu za transport. Predmet se omata termofolijom, odnosno VCI folijom koja sadrži hlapljivi inhibitor koji produljuje vijek trajanja. Folija za omatanje prikazana je na slici 30. Za velike komponente potrebno je osigurati transport pod nadzorom.



Slika 30. Folija za zaštitu predmeta

6. Eksperimentalni dio

Prvi dio eksperimentalnog rada napravljen je u tvrtki Končar – Metalne konstrukcije gdje su aplicirani premazi te je dio osušen na zraku, a dio IC zračenjem. Nakon toga provedena su ispitivanja u Laboratoriju za zaštitu materijala na Fakultetu strojarstva i brodogradnje.

6.1 Provedba ispitivanja

U ovom ispitivanju korišteni su premazi Hempadur Avantguard 770 i Hempadur 15553. Hempadur Avantguard 770 je cinkom bogati tamnosivi temeljni premaz koji smanjuje učinak korozije pružajući galvansku zaštitu. Posjeduje dobra mehanička svojstva pa se koristi kao temeljni premaz u izrazito jakom korozivnom okolišu zbog čega nalazi primjenu na *offshore* postrojenjima. Hempadur 15553 je dvokomponentna svijetlo siva epoksidna boja koja sadrži cink-fosfate. Ovaj premaz ima vrlo dobru otpornost na abraziju i udar te prionjivost. Primjenjuje se na toplo-pocinčanim površinama, za zaštitu aluminijskih i čeličnih površina u korozivnim sredinama. Pogodan je za primjene kada nije moguće ohrapaviti površinu. Detaljnije specifikacije ovih premaza nalaze se u tehničkim listovima proizvođača koji su priloženi na kraju ovog rada. U tablici 5 prikazan je plan nanošenja i sušenja uzorka pojedine vrste premaza.

Tablica 5. Plan nanošenja i sušenja premaza

| Broj uzoraka | Hempadur Avantguard 770 | Hempadur 15553 |
|------------------|-------------------------|----------------|
| IC sušenje | 8 | 9 |
| Sušenje na zraku | 8 | 7 |

6.1.1 Premazivanje i sušenje uzoraka

Prije početka nanošenja premaza izmjereni su mikroklimatski uvjeti prema normi HRN EN ISO 8501-4:2008 uređajem Elcometer 319. Kao što je vidljivo na slici 31, relativna vlažnost zraka iznosila je 59,3 %, temperatura zraka 14,3 °C, a temperatura rosišta 6,5 °C, što su povoljni uvjeti za nanošenje premaza.



Slika 31. Mjerenje mikroklimatskih uvjeta

Premazi su pripremljeni prema uputama proizvođača i ručno zamiješani u posudi za miješanje. Na ispitne pločice od ugljičnog čelika nanoseni su spiralnim aplikatorom za debljinu od 150 μm kao što prikazano slikama 32 i 33.

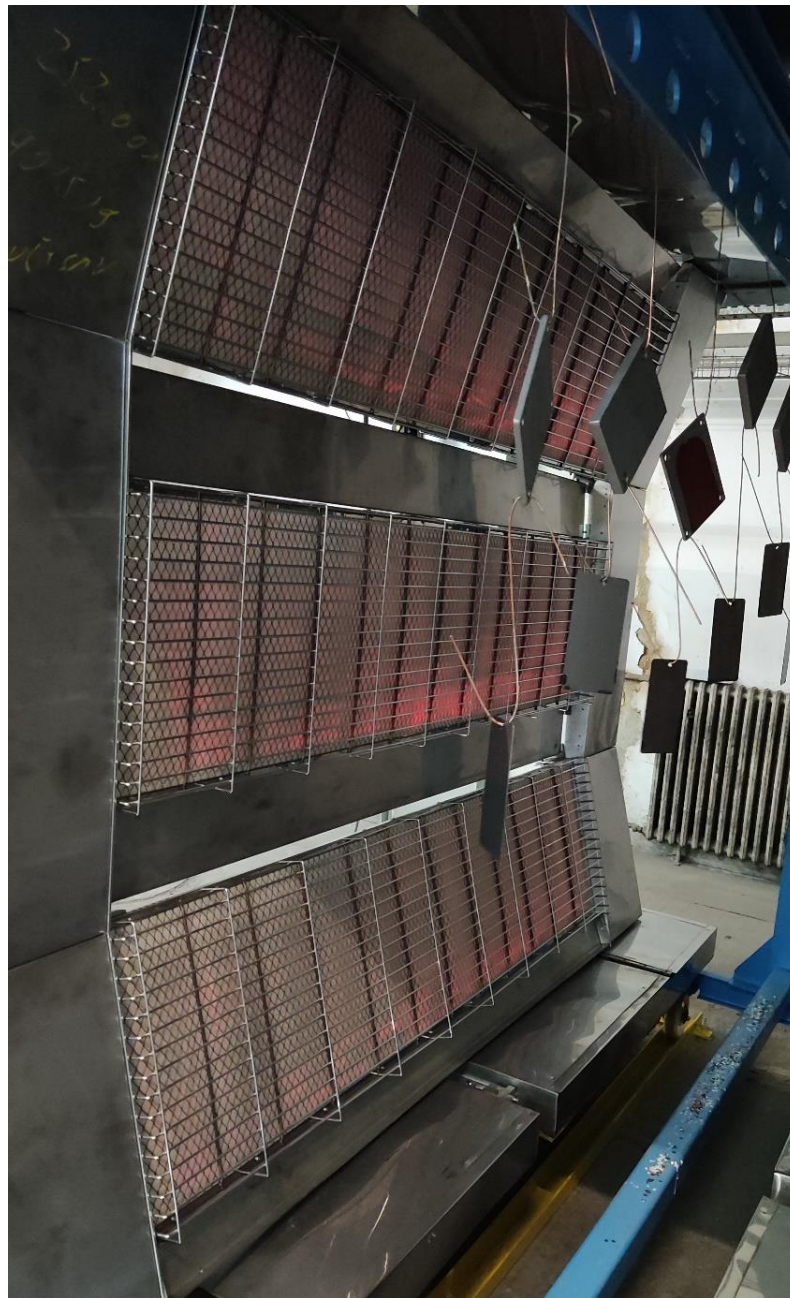


Slika 32. Prijenos premaza žlicom na uzorak



Slika 33. Nanošenje premaza spiralnim aplikatorom

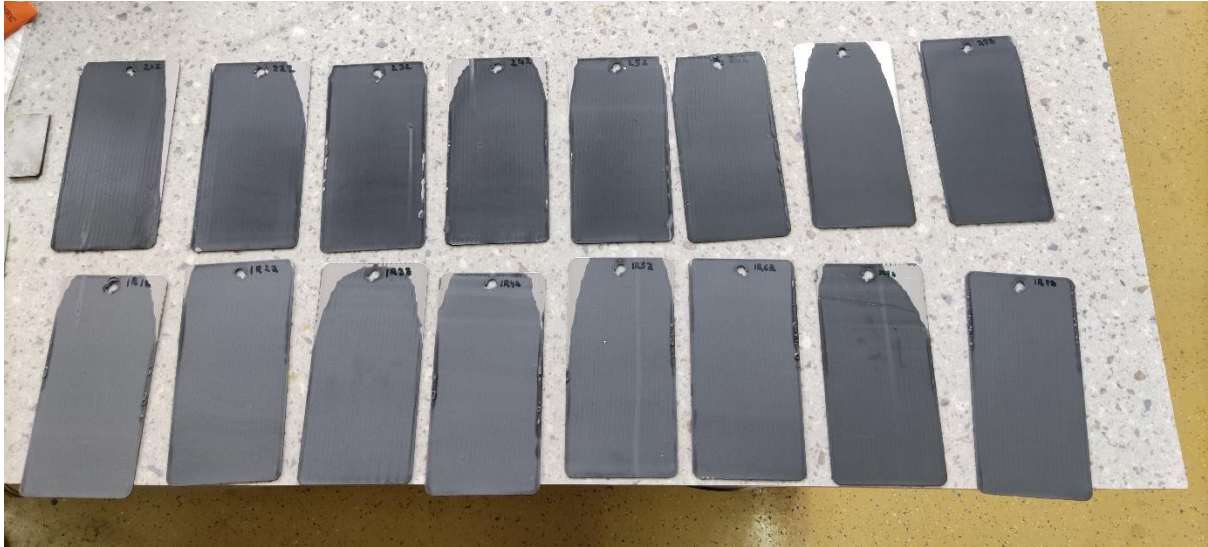
Nakon nanošenja uzroci su raspoređeni za sušenje na zraku i IC sušenje. Uzorci koji su se sušili IC zračenjem ostavljeni su da se 20 minuta osuše na zraku kako ne bi došlo do curenja boje prilikom sušenja uslijed djelovanja gravitacije. Sušenje premaza pomoću IC grijača prikazano je na slici 34. Provjera je li premaz osušen vršila se povlačenjem vrha kemijske olovke po površini. Ukoliko nije nastao trag, smatra se da je premaz suh. Infracrveno sušeni premazi bili su suhi nakon 10 minuta sušenja pod utjecajem zračenja dok je premazima koji su ostavljeni da se suše na zraku trebalo nekoliko dana da budu potpuno suhi.



Slika 34. Sušenje ispitnih uzoraka IC zračenjem u tvrtki Končar – Metalne konstrukcije

6.1.2 Mjerenje debljine uzoraka

Nakon što su se uzorci osušili, odneseni su u Laboratorij za zaštitu materijala na provedbu ispitivanja. Osušeni i označeni uzorci nalaze se na slikama 35 i 36, dok je u tablici 6 prikazan način označavanja uzoraka pri čemu x predstavlja broj uzroka.



Slika 35. Uzorci premaza Hempadur Avantguard 770



Slika 36. Uzorci premaza Hempadur 15553

Tablica 6. Oznake uzoraka

| Broj uzoraka | Hempadur Avantguard 770 | Hempadur 15553 |
|------------------|-------------------------|----------------|
| IC sušenje | IRxZ | IRx |
| Sušenje na zraku | ZxZ | Zx |

Prvi korak analize uzoraka bilo je mjerenje debljine premaza uređajem PosiTector 6000 sukladno normi HRN EN ISO 2808:2019. Rezultati mjerenja nalaze se u tablicama 7, 8, 9 i 10.

Tablica 7. Debljina premaza Hempadur 15553 sušenih na zraku

| Uzorak | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| x_{min} | 62,2 | 60,7 | 61,6 | 53,6 | 59,8 | 58,4 | 55,6 |
| x_{max} | 70,4 | 73,6 | 78,6 | 66,5 | 75,9 | 84,7 | 73,3 |
| \bar{x} | 65,57 | 65,44 | 66,41 | 57,3 | 65,22 | 67,34 | 63,19 |

Tablica 8. Debljina premaza Hempadur 15553 sušenih IC zračenjem

| Uzorak | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| x_{min} | 52,9 | 44,5 | 51,9 | 50,9 | 45,8 | 52,5 | 51,5 | 62,3 | 55,9 |
| x_{max} | 64,4 | 62,2 | 65,2 | 89,5 | 68,8 | 68,6 | 63,7 | 79,1 | 66,4 |
| \bar{x} | 58,69 | 50,33 | 55,73 | 60,53 | 58,66 | 59,72 | 56,76 | 66,24 | 61,32 |

Tablica 9. Debljina premaza Hempadur Avantguard 770 sušenih na zraku

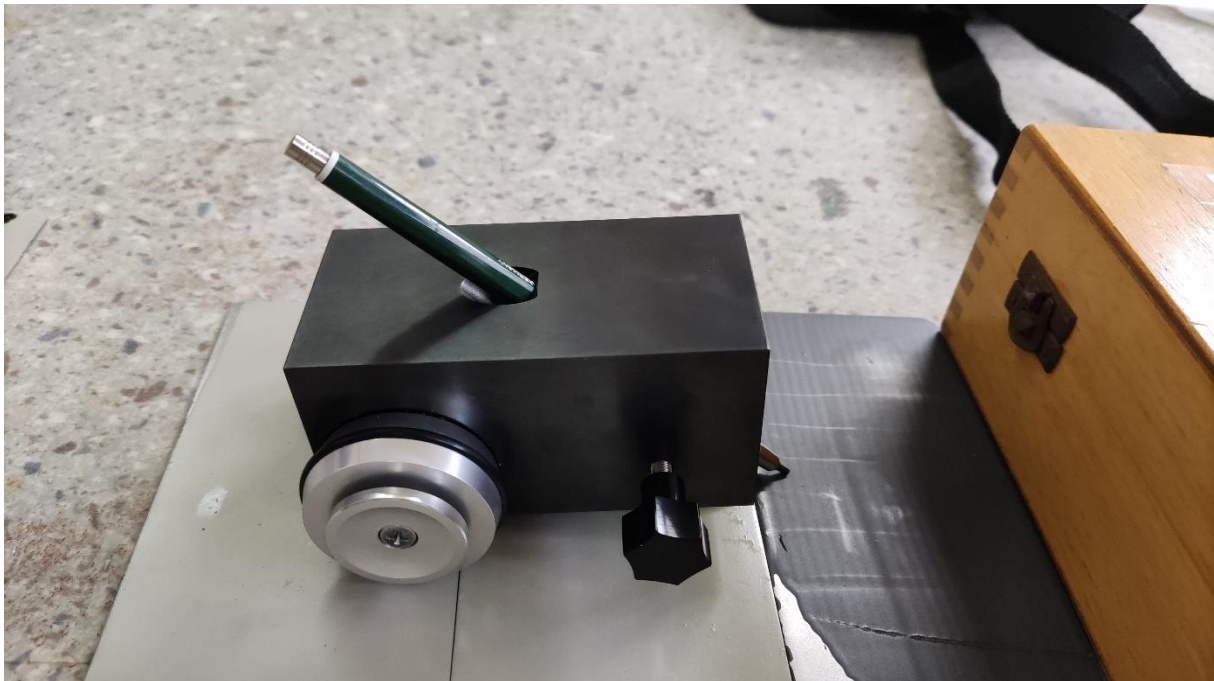
| Uzorak | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| x_{min} | 68,4 | 82,1 | 75,5 | 74,8 | 72,7 | 64,1 | 73,3 | 79,8 |
| x_{max} | 96,8 | 95,3 | 98,8 | 95,7 | 95,8 | 96,6 | 94,9 | 100,7 |
| \bar{x} | 81,4 | 83,6 | 87,5 | 88,7 | 82,6 | 84,7 | 87,8 | 89,09 |

Tablica 10. Debljina premaza Hempadur Avantguard 770 sušenih IC zračenjem

| Uzorak | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| x_{min} | 67,8 | 70,2 | 60,3 | 64,9 | 72,5 | 68,4 | 78,2 | 71,1 |
| x_{max} | 84,5 | 89,1 | 86,7 | 101,3 | 88,3 | 88,6 | 126,7 | 90,6 |
| \bar{x} | 78,63 | 82,23 | 77,92 | 83,09 | 81,63 | 79,82 | 91,71 | 82,52 |

6.1.3 Mjerenje tvrdoće olovkom

Mjerenje tvrdoće olovkom provedeno je prema normi HRN EN ISO 15184:2013. Ispitivanje se provodi pomoću utega koji osigurava položaj olovke pod kutom od 45° te održava konstantnu silu pritiskanja. Upotrebljava se spektar od 14 olovaka od tvrdih ka mekšima prema sljedećem nizu: 6H – 5H – 4H – 3H – 2H – H – F – HB – B – 2B – 3B – 4B – 5B – 6B. Duljina grafitnog dijela olovke mora biti 5 – 6 mm, a vrh mora biti pobrušen. Potrebno je ostaviti trag olovke barem 7 mm i nakon toga obrisati. Ukoliko nema tragova oštećenja premaza, njegova je tvrdoća ekvivalentna tvrdoći te olovke. Način ispitivanja prikazan je na slici 37, a rezultati ispitivanja prikazani su u tablici 11.



Slika 37. Uređaj za ispitivanje tvrdoće olovkom

Tablica 11. Rezultati ispitivanja tvrdoće olovkama

| Oznaka uzorka | Vrijednost tvrdoće |
|---------------|--------------------|
| Z1 | H |
| IR8 | F |
| Z7Z | F |
| IR7Z | HB |

6.1.4 Mjerenje tvrdoće metodom Shore D

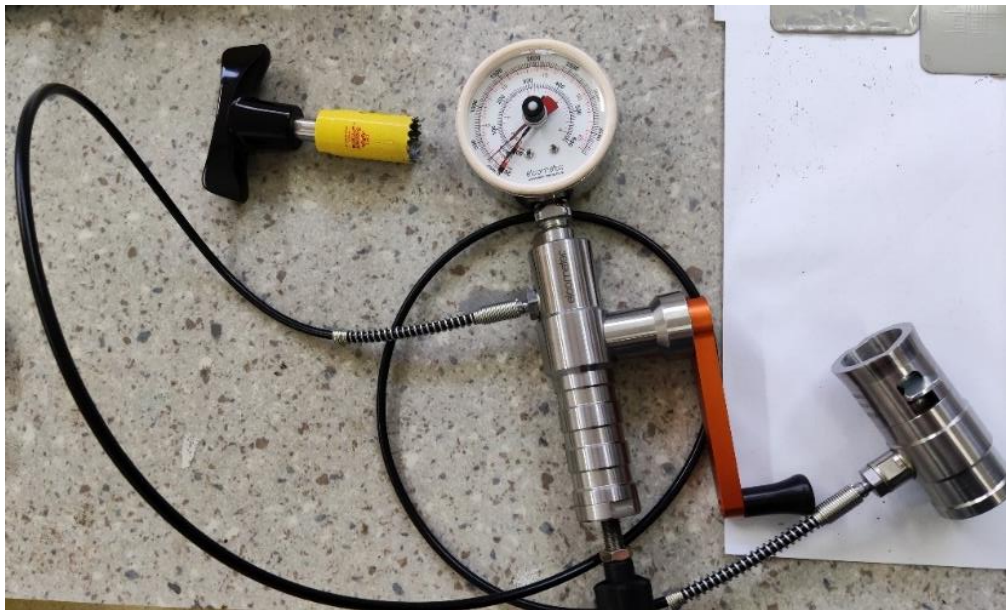
Mjerenje tvrdoće metodom Shore D napravljeno je prema normi HRN EN ISO 7619-1 uređajem PosiTector 6000. Vrijednosti tvrdoće prema ovoj metodi kreću se od 0 (najmanja) do 100 (najveća). Rezultati mjerenja pokazuju vrlo visoku tvrdoću kao što je prikazano u tablici 12.

Tablica 12. Vrijednosti tvrdoće prema Shore D metodi

| Uzorak | Vrijednost tvrdoće |
|---------------|---------------------------|
| Z1 | 90 |
| Z4 | 91 |
| Z6 | 90 |
| Z7 | 90 |
| IR1 | 90 |
| IR3 | 90 |
| IR4 | 91 |
| IR6 | 91 |
| Z4Z | 90 |
| Z5Z | 90 |
| Z6Z | 89 |
| Z8Z | 89 |
| IR2Z | 90 |
| IR3Z | 90 |
| IR4Z | 91 |
| IR6Z | 90 |

6.1.5 Ispitivanje prionjivosti vlačnom metodom

Metodom *pull-off* ispituje se prionjivost premaza. Ispitivanje je provedeno prema normi HRN EN ISO 4624:2016 na način da se prvo brusnim papirom očistila površina premaza, zatim se na čunjić nanijelo lijepilo te je on zalijepljen na pločicu. Nakon 45 minuta skinut je premaz oko čunjića te je postavljen mjerni uređaj. Povećanjem opterećenja na čunjić mjerimo naprezanje koje je potrebno da se čunjić odvoji od površine. Na slici 38 prikazana je oprema za provedbu ovog ispitivanja. Na slikama 39 i 40 prikazan je tijek ispitivanja, a u tablici 13 dani su rezultati.



Slika 38. Oprema za ispitivanje prionjivosti vlačnom metodom



Slika 39. Čunjići zalijepljeni na ispitne uzorke



Slika 40. Izgled uzoraka nakon odvajanja čunjića

Tablica 13. Rezultati ispitivanja vlačnom metodom

| Oznaka uzorka | Vrijednost naprezanja [MPa] | |
|---------------|-----------------------------|-----|
| Z1 | 1,1 | 0,4 |
| IR3 | 1,1 | 1,1 |
| Z4Z | 0,4 | 0,4 |
| IR3Z | 1 | 1,1 |

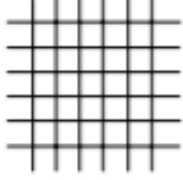
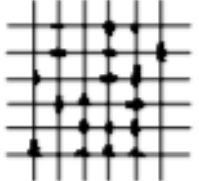
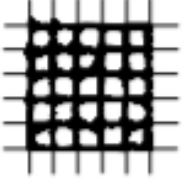
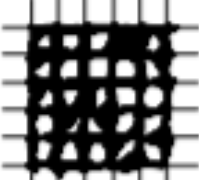
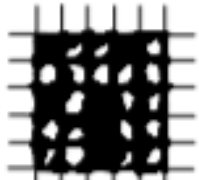
6.1.6 Ispitivanje zarezivanjem mrežice

Cross – cut metoda koristi se za ispitivanje otpornosti premaza od odvajanja s obzirom na prethodni sloj ili osnovni materijal. Ispitivanje se izvodi po normi HRN EN ISO 2409:2013. Za premaze debljine između 61 i 120 μm koristi se pločica s razmakom ureza od 2 mm. Ureзна pločica sastoji se od 6 linija koje je potrebno vodoravno urezati skalpelom, a zatim urezati 6 linija okomito na prethodni smjer. Nakon što su urezane linije potrebno je četkom maknuti otkinute čestice premaza. Preostale čestice mogu se otkloniti i naljepljivanjem selotejpa na urezani dio pri čemu je potrebno zagladiti područje ureza i nakon najviše 5 minuta od naljepljivanja odlijepiti u roku 0,5 do 1 sekunde pod kutom od 60° . Provedba ispitivanja prikazana je slikom 41. Način ocjenjivanja ove metode ispitivanja prema [28] prikazan je u tablici 14, a u tablici 15 prikazani su rezultati ispitivanja.

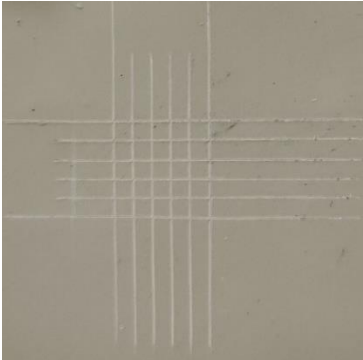
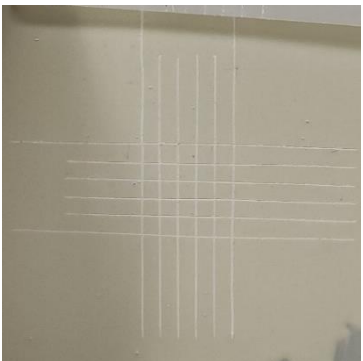
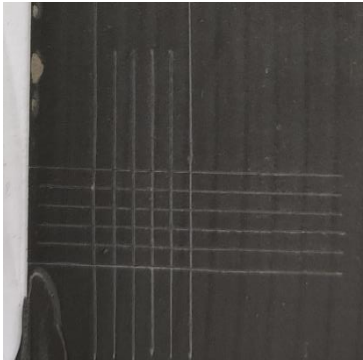



Slika 41. Izgled etalona za urezivanje *cross-cut* metodom

Tablica 14. Upute za ocjenjivanje ispitivanja zarezivanjem mrežice prema HRN EN ISO 2409

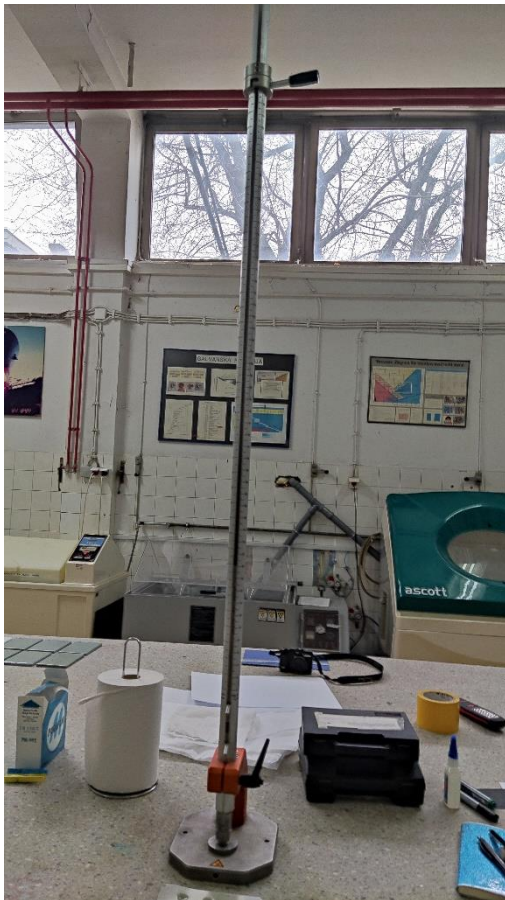
| Klasifikacija | Opis | Izgled površine |
|---------------|---|---|
| 0 | Rubovi rezova su potpuno glatki; nijedan od kvadrata rešetke se nije odvojio. |  |
| 1 | Odvajanje malih čestica premaza na sjecištima rezova. Manje od 5 % površine kvadratića rešetke je oštećeno. |  |
| 2 | Premaz se oljuštio uz rubove i/ili na sjecištima reza. Otkinuto je između 5 % i 15 % površine. |  |
| 3 | Premaz se oljuštio uz rubove djelomično ili u potpunosti u obliku traka. Otkinuto je između 15 i 35 % površine. |  |
| 4 | Premaz se oljuštio uz rubove djelomično ili u potpunosti u obliku traka. Neki kvadrati su se u potpunosti odvojili. Otkinuto je između 35 i 65 % površine. |  |
| 5 | Svaki veći oblik oštećenja koji se ne može okarakterizirati stupnjem 4. | - |

Tablica 15. Rezultati ispitivanja zarezivanjem mrežice

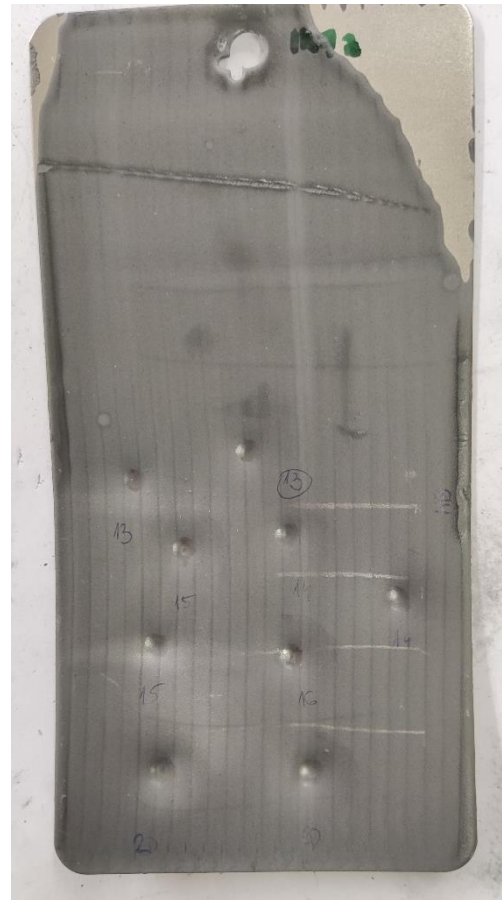
| Oznaka uzorka | HRN EN ISO 2409 | Izgled |
|---------------|-----------------|--|
| Z1 | 0 |  |
| IR3 | 0 |  |
| Z4Z | 0 |  |
| IR3Z | 2 |  |

6.1.7 Ispitivanje otpornosti na udar

Ispitivanje otpornosti na udar izvodi se sukladno normi HRN EN ISO 6272-1 tako da se uteg mase 1000 ± 5 g pusti s određene visine da slobodno padne na površinu. Uteg se spušta s različitih visina, a postupak se ponavlja dok se ne pronađe granična visina pri kojoj ne dolazi do pucanja premaza. Najveća visina koju izdrži premaz predstavlja vrijednost otpornosti na udar. Uređaj na kojem se ispituje udar prikazan je na slici 42, dok je na slici 43 primjer ispitanog uzorka. Rezultati ispitivanja nalaze se u tablici 16. Svi ispitani premazi imaju nisku otpornost na udar.



Slika 42. Uređaj za ispitivanje udarom



Slika 43. Uzorak ispitan udarom

Tablica 16. Rezultati ispitivanja udarom

| Oznaka uzorka | Visina [mm] |
|---------------|-------------|
| Z1 | 14 |
| IR8 | 20 |
| Z7Z | 24 |
| IR7Z | 13 |

6.1.8 Određivanje potencijala otvorenog strujnog kruga (OCP)

Ovo se ispitivanje provodi u svrhu praćenja ponašanja ispitivanog uzorka na koroziju u određenom okruženju. Prilikom ovog ispitivanja prati se odnos potencijala referentne i radne elektrode. Kada se uspostavi stacionarno stanje, vrijede jednačbe 1 i 2.

$$E_{kor} = E_{ok} \quad (1)$$

$$I_a = I_k = I_{kor} \quad (2)$$

Dane jednačbe pokazuju izjednačenje vrijednosti potencijala otvorenoga strujnoga kruga te korozijskog potencijala. Na površini metala na kojem se nalazi elektrolit jednake su vrijednosti struja anode koja predstavlja otapanje metala i katode koja pokazuje redukciju. Te struje predstavljaju vrijednost struje korozije no suprotnog su predznaka. Predznak potencijala otvorenog kruga govori nam kakva je korozijska otpornost uzorka prema mediju u kojem se nalazi te je to prikazano tablicom 17. [4]

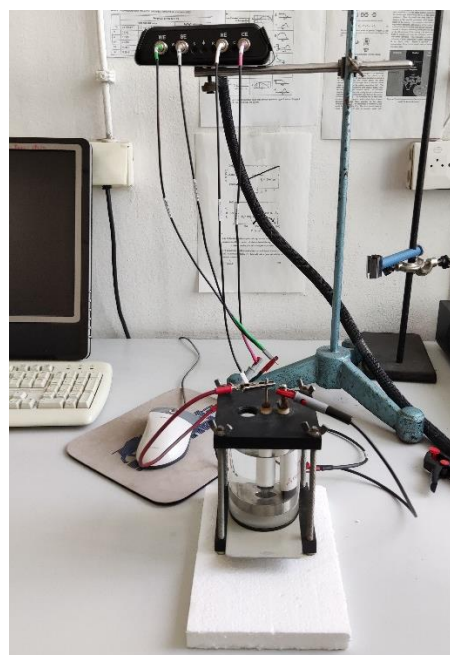
Tablica 17. Ponašanje materijala s obzirom na vrijednost E_{ok} [4]

| | |
|---|--|
| $E_{ok} > 0$ | Stabilno ponašanje – ne dolazi do korozije pri prisutnosti elektrolita |
| $E_{ok} < 0$ | Nestabilno ponašanje – dolazi do korozije pri prisutnosti elektrolita |
| Ukoliko dolazi do promjene predznaka – prema + rezultat takvog ponašanja je pasivizacija. | |

Za ovo ispitivanje korištena je 3,5 %-tna otopina natrijeva klorida. Korištena je ćelija K0307 proizvođača AMETEK, te VersaSTAT 3 Potentiostat Galvanostat uređaj istog proizvođača. Radna elektroda je ispitni uzorak, odnosno čelična pločica koja se ispitivala, protuelektroda je grafitna, dok je referentna elektroda Hastelloy C-276. Referentna i protuelektroda dolaze zajedno s ispitnom ćelijom koja je prikazana na slici 44, a na slici 45 prikazan uzorak spojen na uređaj za ispitivanje. Podaci ispitivanja analizirani su u programu VersaStudio. Parametri ispitivanja vidljivi su u tablici 18, dok su vrijednosti E_{kor} prvog dana ispitivanja dane u tablici 19.



Slika 44. Ispitna ćelija K0307 [29]

Slika 45. Elektrokemijsko ispitivanje vrijednosti E_{ok}

Tablica 18. Parametri ispitivanja

| | |
|--|--------------------------|
| Referentna elektroda | Hastalloy C276 (0,223 V) |
| Radna elektroda | Čvrsta elektroda |
| Površina radne elektrode (cm²) | 32 |
| Gustoća (g/ml) | 7,87 |
| Ekvivalentna masa (g) | 27,92 |
| Vrijeme ispitivanja | 1 000 s |

Tablica 19. Vrijednosti E_{ok} prvog dana

| | |
|---------------|---------------------------------|
| Uzorak | E_{ok} [mV] |
| Z7 | -369,581 |
| IR6 | -453,005 |
| Z6Z | -783 |
| IR6Z | -921,039 |

6.1.9 Elektrokemijska impedancijska spektroskopija (EIS)

Prema [4] „Elektrokemijska impedancijska spektroskopija je metoda kojom se na elektrodu dovodi izmjenično promjenjiv potencijal male amplitude (5-10 mV) te širokog opsega frekvencija (1 mHz – 1 MHz).“ Temelji se na predočavanju elektrokemijskog sustava pomoću ekvivalentnog električnog modela koji uključuje otpornike i kondenzatore. Impedancijske jednadžbe pojedinih elemenata električnog kruga prikazane su jednadžbama 3, 4 i 5.

$$\text{Otpornik} \quad Z = R + j \times 0 \quad (3)$$

$$\text{Kondenzator} \quad Z = 0 - \frac{j}{\omega C} \quad (4)$$

$$\text{Paralelni spoj otpornika i kondenzatora} \quad Z = \frac{R}{1 + \omega^2 C^2 R^2} - j \frac{\omega C R^2}{1 + \omega^2 C^2 R^2} \quad (5)$$

Impedancija se sastoji od realnog i imaginarnog dijela te se računa prema formuli 6, dok se fazni kut između realne i imaginarne osi računa prema formuli 7.

$$|Z| = \sqrt{Z_{RE}^2 + Z_{IM}^2} \quad (6)$$

$$\tan \varphi = \frac{Z_{IM}}{Z_{RE}} \quad (7)$$

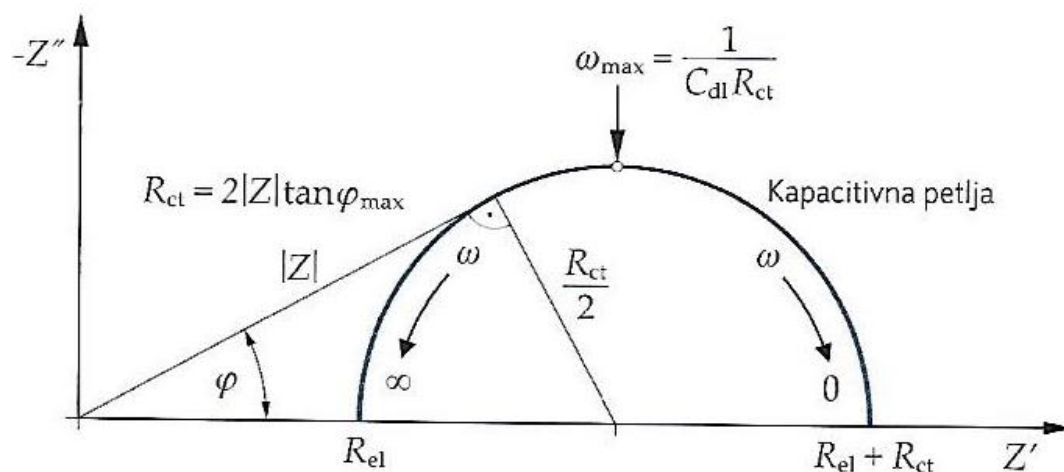
Ekvivalentni električni krug za opisivanje elektrokemijske ćelije naziva se Randlesovim krugom. Njegovi su dijelovi:

- polarizacijski otpor R_p ili otpor prijenosa naboja R_{ct} ,
- kapacitet dvosloja C_{dl} i
- otpor elektrolita R_{el} .

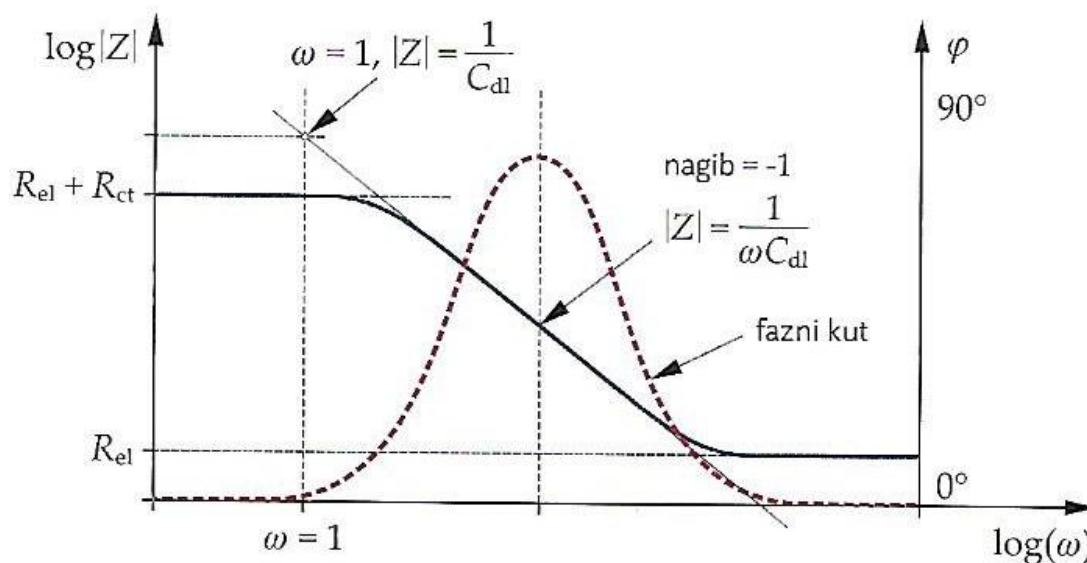
Ukupna jednadžba tog kruga prikazana je jednadžbom 8.

$$Z_{uk} = R_{el} + \frac{R_{ct}}{1 + \omega^2 C_{dl}^2 R_{ct}^2} - j \frac{\omega C_{dl} R_{ct}^2}{1 + \omega^2 C_{dl}^2 R_{ct}^2} \quad (8)$$

Rezultati ispitivanja prikazuju se Nyquistovim (slika 46) odnosno Bodeovim (slika 47) dijagramom. Na x osi Nyquistovog dijagrama nalazi se realni dio impedancije, dok je na y osi imaginarni dio. Apscisu Bodeovog dijagrama predstavlja logaritam frekvencije, a ordinatu logaritam apsolutne vrijednosti impedancije.



Slika 46. Prikaz elektrokemijskog sustava Nyquistovim dijagramom [4]

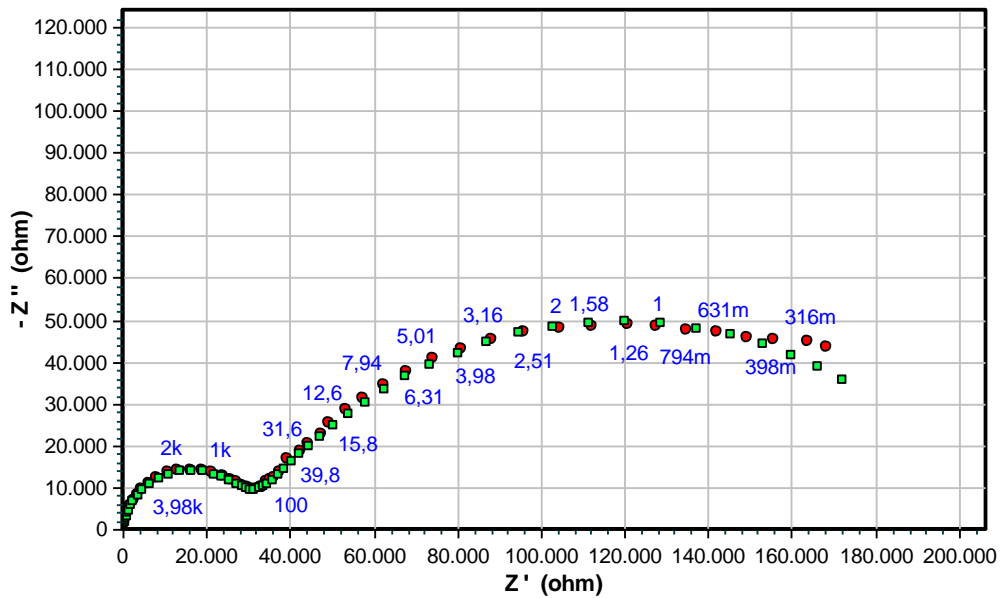


Slika 47. Prikaz elektrokemijskog sustava Bodeovim dijagramom [4]

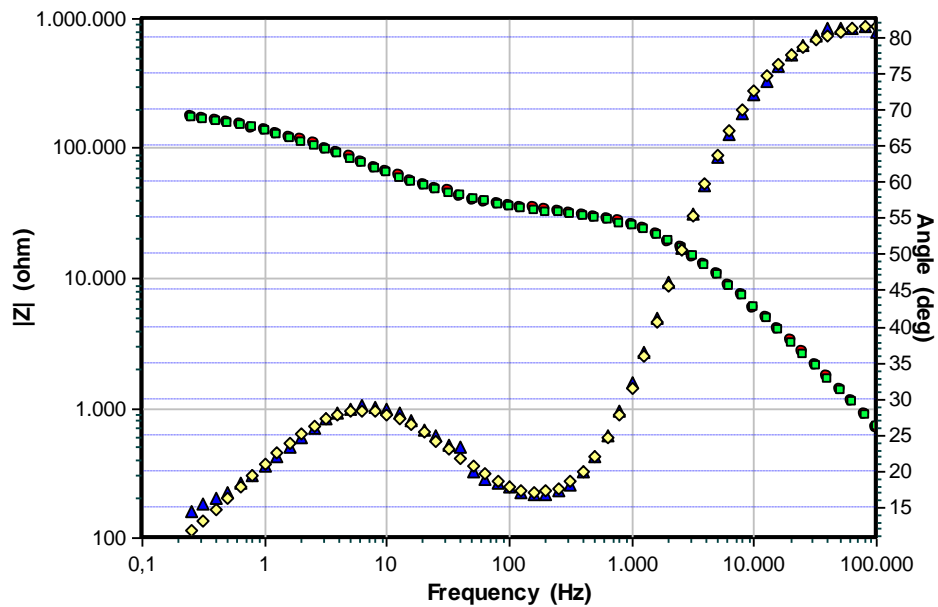
Ukoliko je vrijednost otpora premaza veća od $10^8 \Omega\text{cm}^2$ on se smatra kvalitetnim, dok su premazi s vrijednostima manjim od $10^6 \Omega\text{cm}^2$ loši. [4]

EIS ispitivanje je provedeno u 3,5 %-tnoj otopini natrijeva klorida s istim priborom i programom kao i OCP, a grafovi su analizirani u programskom paketu ZSmpWin. Frekvencija prema kojoj se ispitivalo kretala se od 0,1 do 100 000 Hz, a amplituda je iznosila 100 mV.

Uzorak 7 dvokomponentne epoksidne boje sušen na zraku imao je vrijednost otpora $1,797 \times 10^5 \Omega \text{cm}^2$. Izgled Nyquistovog dijagrama pokazan je na slici 48, dok je Bodeov prikazan na slici 49.

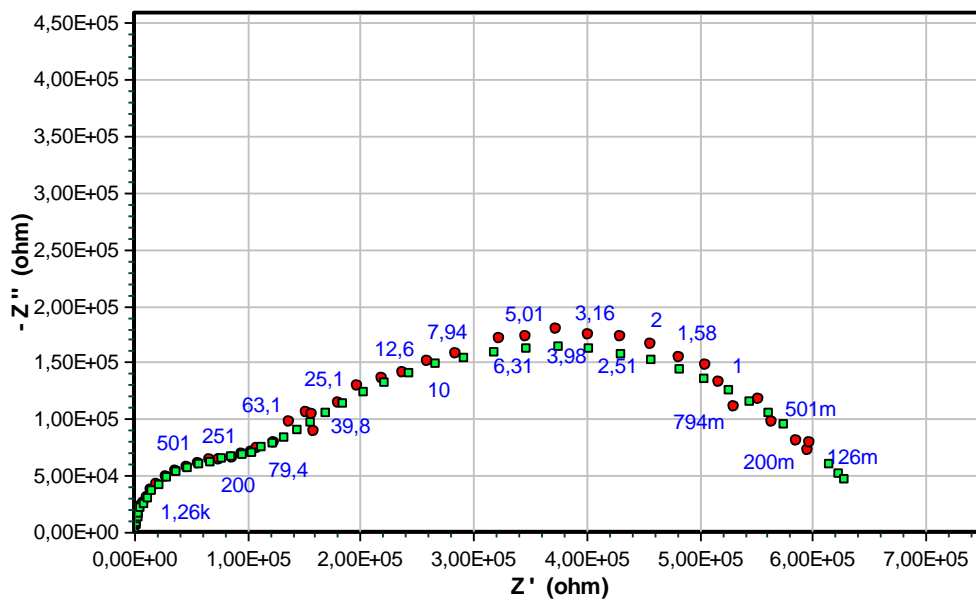


Slika 48. Nyquistov dijagram za uzorak Z7

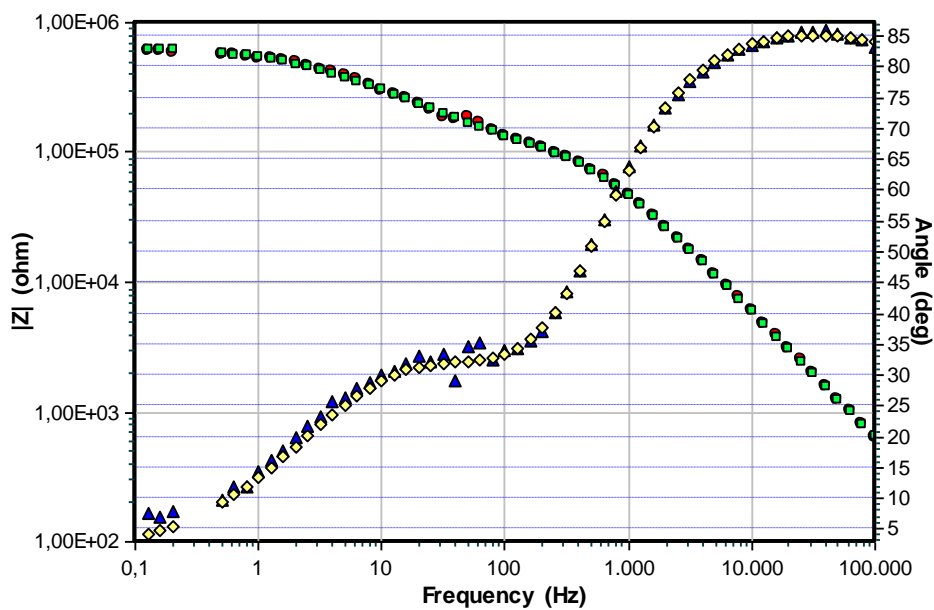


Slika 49. Bodeov dijagram za uzorak Z7

Uzorak 6 dvokomponentne epoksidne boje sušen IC zračenjem imao je vrijednost otpora $5,556 \times 10^5 \Omega \text{cm}^2$. Izgled Nyquistovog dijagrama pokazan je na slici 50, dok je Bodeov prikazan na slici 51.

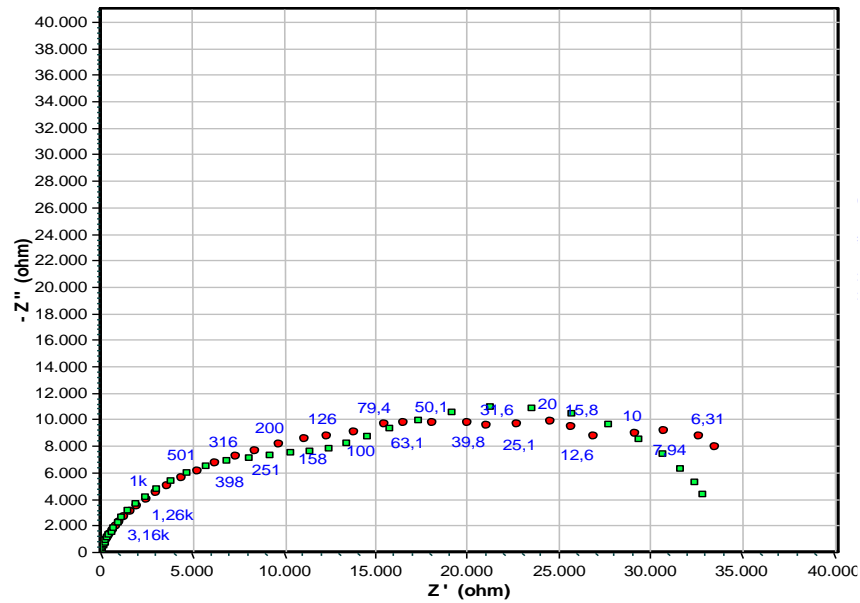


Slika 50. Nyquistov dijagram za uzorak IR6

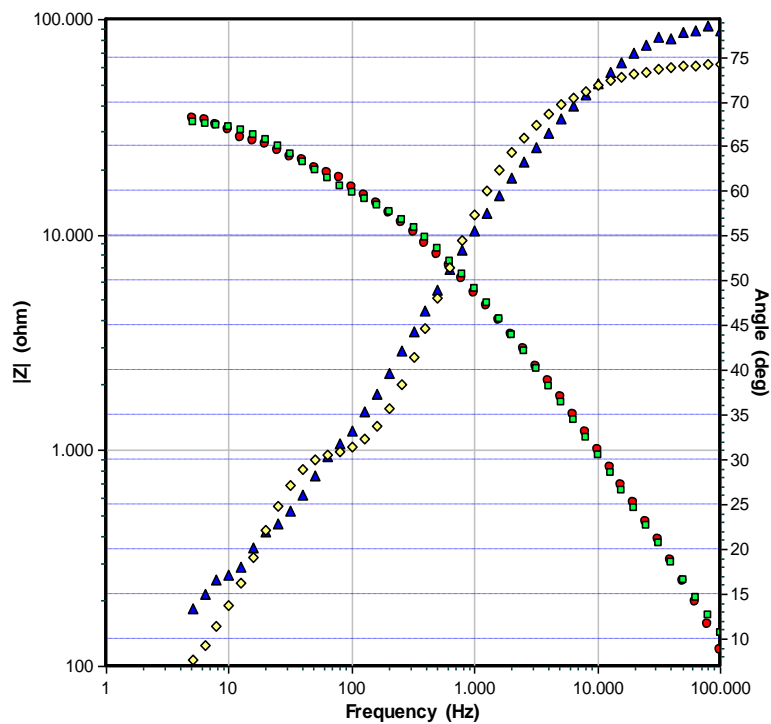


Slika 51. Bodeov dijagram za uzorak IR6

Uzorak 6 temeljnog premaza bogatog cinkom sušen na zraku imao je vrijednost otpora $1,604 \times 10^4 \Omega \text{cm}^2$. Izgled Nyquistovog dijagrama pokazan je na slici 52, dok je Bodeov prikazan na slici 53.

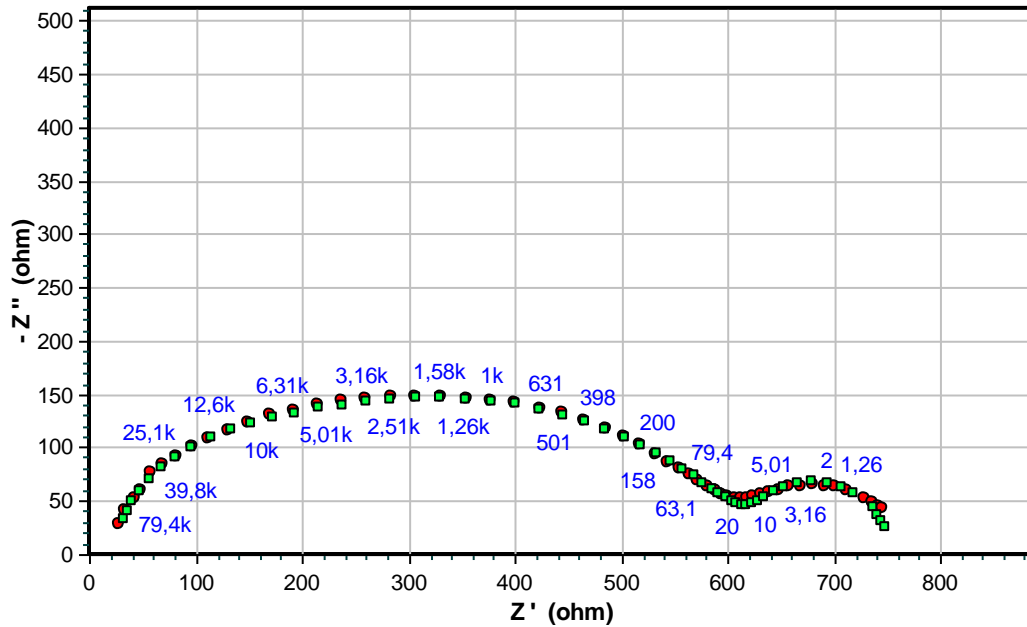


Slika 52. Nyquistov dijagram za uzorak Z6Z

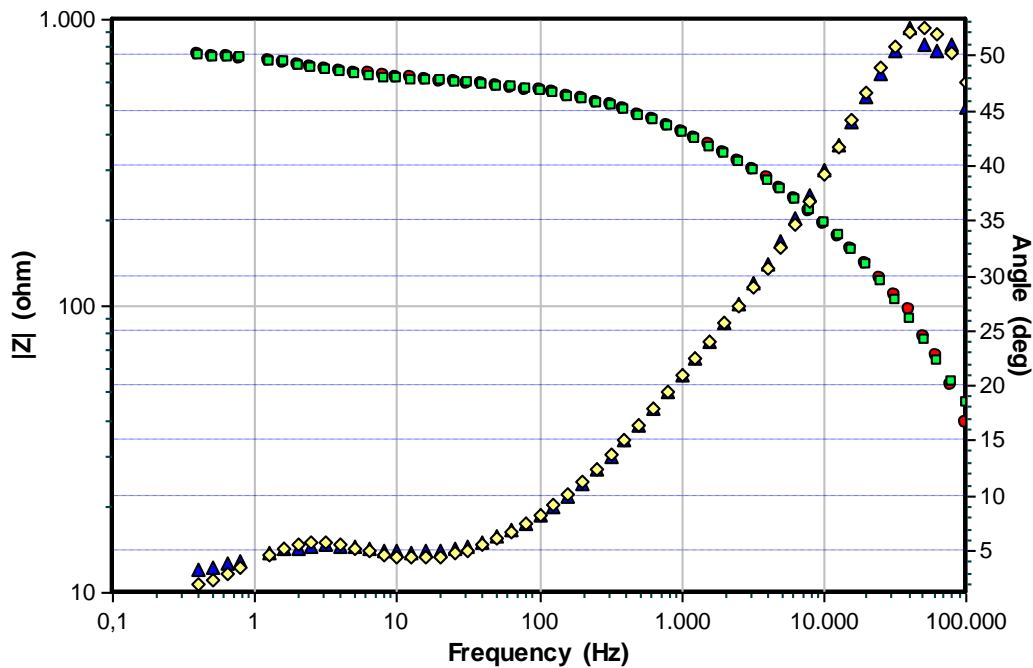


Slika 53. Bodeov dijagram za uzorak Z6Z

Uzorak 6 temeljnog premaza bogatog cinkom sušen IC zračenjem imao je najnižu vrijednost otpora $1,150 \times 10^2 \Omega \text{cm}^2$. Takav rezultat posljedica je neravnomjernog filma. Izgled Nyquistovog dijagrama pokazan je na slici 54, dok je Bodeov prikazan na slici 55.



Slika 54. Nyquistov dijagram za uzorak IR6Z



Slika 55. Bodeov dijagram za uzorak IR6Z

6.1.10 Ispitivanje u slanoj komori

6.1.10.1 Metode ocjene uzoraka

Ispitivanje u slanoj komori provedeno je prema normi HRN EN ISO 9227 u komori Ascott S450 prikazanoj na slici 56. Ispitivanje je trajalo 7 dana. Ispitna atmosfera u kojoj su bili izloženi uzorci bila je slana magla 5 %-tne otopine natrijeva klorida pri temperaturi od 35 ± 2 °C.



Slika 56. Slana komora Ascott S450

Prije samog izlaganja, rubovi uzoraka zaštićeni su selotejpom kako ne bi došlo do korozije rubnih dijelova koji nisu zaštićeni premazom. U svrhu procjene propadanja premaza i ocjene pojave korozije oko ureza, napravljen je urez duljine 50 mm pomoću naprave prikazane na slici 57.



Slika 57. Alat za urezivanje

Uzorci su promatrani prvog, četvrtog i sedmog dana ispitivanja. Nakon završetka izlaganja u slanoj komori napravljene su ocjene sljedećih ispitivanja:

- prionjivosti, HRN EN ISO 2409,
- mjehuranja, HRN EN ISO 4628-2,
- hrđanja, HRN EN ISO 4628-3,
- pucanja, HRN EN ISO 4628-4,
- ljuštenja, HRN EN ISO 4628-5 te
- stupnja korozije oko ureza, ISO 4628-8.

Objašnjenje ispitivanja prionjivosti dano je u poglavlju 6.1.6 te je način ocjenjivanja prikazan u tablici 14. Da bi premaz zadovoljio svoju svrhu, ocjena ispitivanja treba biti između 0 i 2.

Ocjena mjehuranja određuje se prema veličini i količini mjehura koji su nastali na površini sukladno sa slikama iz norme HRN EN ISO 4628-2. Kvalitetan premaz ne bi trebao imati mjehura.

Hrđanje se određuje na temelju postotka zahrđale površine prema tablici 20, ali i prema slikama iz norme HRN EN ISO 4628-3.

Tablica 20. Određivanje stupnja hrđanja [30]

| Stupanj hrđanja | Ri 0 | Ri 1 | Ri 2 | Ri 3 | Ri 4 | Ri 5 |
|-----------------------|------|------|------|------|------|---------|
| Zahrđala površina [%] | 0 | 0,05 | 0,5 | 1 | 8 | 40 – 50 |

Stupanj pucanja određuje se prema udjelu pukotina kako je određeno u normi HRN EN ISO 4628-4, a prikazano je u tablici 21. Da bi premaz zadovoljavao uvjete, ocjena pucanja mora biti 0.

Tablica 21. Postupak ocjenjivanja količine pukotina [31]

| Ocjena pucanja | Količina pukotina |
|----------------|--|
| 0 | Nema (uočljivih pukotina) |
| 1 | Vrlo malen, jedva značajan broj pukotina |
| 2 | Mali, ali značajan broj pukotina |
| 3 | Umjereni broj pukotina |
| 4 | Znatan broj pukotina |
| 5 | Puno pukotina |

Stupanj ljuštenja određuje se prema površini ljusaka, odnosno njihovoj veličini kako je prikazano u tablici 22. Ocjena ljuštenja mora biti 0.

Tablica 22. Ocjena ljuštenja [32]

| Ocjena | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------------------------|--------------------------------|------|------|-------|-------|------------|
| Oljuštena površina [%] | 0 | 0,1 | 0,3 | 1 | 3 | 15 |
| Veličina ljuske [mm] | nije vidljivo povećanjem (10x) | do 1 | do 3 | do 10 | do 30 | veće od 30 |

Stupanj korozije na urezu računa se prema jednadžbi 9 pri čemu w_c predstavlja ukupnu širinu zone korozije, a w širinu ureza. Dozvoljeni stupanj korozije prema normi ISO 12944-6 iznosi 1,5 mm.

$$c = \frac{w_c - w}{2} \quad (9)$$

Stupanje delaminacije i izgled korozije uspoređuje se sa slikama iz norme ISO 4628-8.




6.1.10.2 Ocjena ispitivanja

U tablici 23 dane ocjene izgleda uzoraka prikazanih u tablici 24, dok se u tablici 26 nalaze ocjene ureza koji su prikazani u tablici 25.







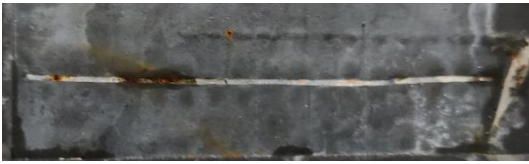

Tablica 23. Rezultati ispitivanja uzoraka u slanoj komori

| Uzorak | HRN EN ISO 2409 | HRN EN ISO 4628-2 | HRN EN ISO 4628-3 | HRN EN ISO 4628-4 | HRN EN ISO 4628-5 |
|--------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | <i>Cross-cut</i> | Mjehuranje | Hrđanje | Pucanje | Ljuštenje |
| Z4 | 5 | D2S4 | Ri 2 | 0 | 0 |
| IR1 | 1 | D2S4 | Ri 2 | 1 | 1 |
| Z5Z | 1 | 0 | Ri 0 | 0 | 0 |
| IR2Z | 5 | 0 | Ri 0 | 0 | 0 |

Tablica 24. Izgled uzoraka prvog, trećeg i sedmog dana ispitivanja

| Dan | Izgled uzoraka |
|-----|--|
| 1 |  |
| 3 |  |
| 7 |  |

Tablica 25. Izgled ureza nakon sedam dana ispitivanja u slanoj komori

| Uzorak | Izgled ureza | Određivanje stupnja delaminacije |
|--------|---|--|
| Z4 |  |  |
| IR1 |  |  |
| Z5Z |  |  |
| IR2Z |  |  |

Tablica 26. Ocjena ureza nakon sedam dana ispitivanja u slanoj komori

| UZORAK | HRN EN ISO 4628-2 | HRN EN ISO 4628-8 | |
|--------|-------------------|-------------------|----------------------|
| | Mjehuranje | Stupanj korozije | Stupanj delaminacije |
| Z4 | D3S4 | 0,339 | 1 |
| IR1 | D3S3 | 0,455 | 1 |
| Z5Z | D4S4 | 2,745 | 2 |
| IR2Z | D3S4 | 1,25 | 2 |

6.1.11 Ispitivanje u vlažnoj komori

Ispitivanje u vlažnoj komori provedeno je prema normi HRN EN ISO 6270-2 u komori prikazanoj na slici 58. Trajalo je 7 dana. Ispitivanje je provedeno u atmosferi zasićenoj vodenom parom, relativne vlažnosti 100 % i temperature $40 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$.



Slika 58. Vlažna komora

Uzorci su prije stavljanja u komoru bili zaštićeni selotejpom po rubovima kako bi se spriječila mogućnost nastanka korozije i neželjeno propadanje premaza. Uzorci postavljeni u vlažnu komoru prvog dana ispitivanja vidljivi su na slici 59.

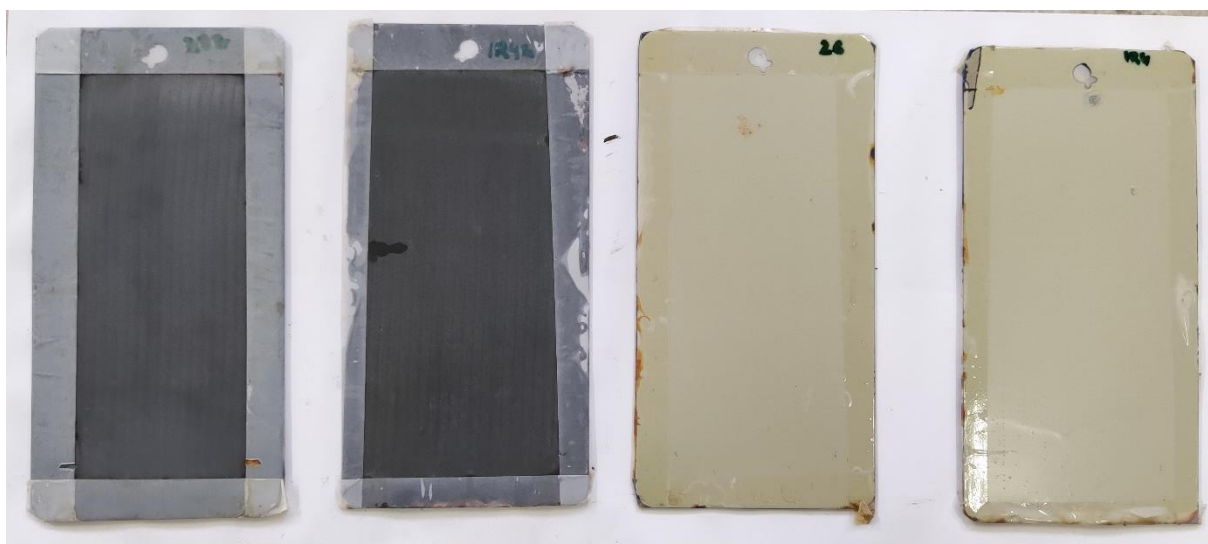


Slika 59. Uzorci u vlažnoj komori 1. dan

Promatrani su i fotografirani uzorci treći i sedmi dan kako je priloženo slikama 60 i 61. Nakon sedmog dana napravljeno je ispitivanje zarezivanjem mrežice te je dana ocjena mjehuranja, hrđanja, ljuštenja i pucanja. Rezultati tih ispitivanja prikazani su u tablicama 27 i 28.



Slika 60. Uzorci izloženi u vlažnoj komori 3.dan

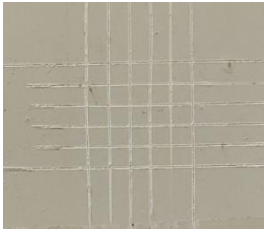

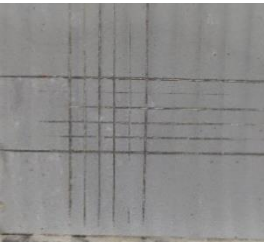
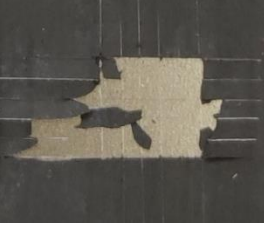


Slika 61. Uzorci izloženi u vlažnoj komori 7.dan

Tablica 27. Analiza uzoraka izloženih u vlažnoj komori

| Uzorak | HRN EN ISO 4628-2 | HRN EN ISO 4628-3 | HRN EN ISO 4628-4 | HRN EN ISO 4628-5 |
|--------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Mjehuranje | Hrđanje | Pucanje | Ljuštenje |
| Z6 | D2S2 | Ri 0 | 0 | 0 |
| IR4 | D2S2 | Ri 0 | 0 | 0 |
| Z3Z | 0 | Ri 0 | 0 | 0 |
| IR4Z | 0 | Ri 0 | 0 | 0 |

Tablica 28. Analiza ispitivanja zarezivanjem mrežice nakon izlaganja u vlažnoj komori

| Oznaka uzorka | HRN EN ISO 2409 | Izgled |
|---------------|-----------------|--|
| Z6 | 0 |  |
| IR4 | 0 |  |
| Z8Z | 1 |  |
| IR4Z | 5 |  |

6.1.12 Ispitivanje u kiselinama

Ispitivanje je provedeno tako da su se uzorcima zaštitili rubovi pomoću selotejpa. Zatim su postavljeni u čašu i štipaljka odvojeni da se ne dodiruju te je ulivena kiselina u kojoj su se izlagali. Na čaše je stavljena folija kako bi se smanjilo isparavanje mirisa i širenje produkata reakcije. Tako pripremljeni uzorci stavljeni su u digestor. Predviđeno vrijeme ispitivanja bilo je 48 sata. Uzorci prije ispitivanja prikazani su na slici 62.



Slika 62. Uzorci pripremljeni za uranjanje u kiseline

Brojevi napisani bijelom bojom prikazuju u kojoj kiselini su uzorci izloženi. Oni redom predstavljaju:

1. 30 %-tna vodena otopina HNO_3 ,
2. 20 %-tna vodena otopina H_2SO_4 ,
3. 5 %-tna vodena otopina HCl .

6.1.12.1 Ispitivanje u dušičnoj kiselinu

Ispitivanje u vodenoj otopini dušične kiseline prekinuto je nakon samo 10 minuta. Razlog tome bila je burna egzotermna reakcija između materijala ispitne pločice i otopine dušične kiseline. Ugljični čelik ima vrlo lošu kemijsku postojanost u toj kiselini pa je došlo do oslobađanja energije, a jačina reakcije može se vidjeti u tablici 29. Slika 63 prikazuje uzorke uronjene u HNO_3 . Rezultati ispitivanja dani su u tablici 30.



Slika 63. Uzorci uronjeni u vodenu otopinu dušične kiseline

Tablica 29. Izgled uzoraka nakon 10 min izlaganja u vodenoj otopini HNO_3

| | |
|--------------------|--|
| Nezaštićena strana | |
| Zaštićena strana | |

Tablica 30. Ocjena izgleda uzoraka nakon uranjanja u vodenu otopinu HNO₃

| Uzorak | HRN EN ISO 2409 | HRN EN ISO 4628-2 | HRN EN ISO 4628-3 |
|--------|------------------|-------------------|-------------------|
| | <i>Cross-cut</i> | Mjehuranje | Hrđanje |
| Z5 | 0 | 0 | Ri 1 |
| IR7 | 1 | 0 | Ri 0 |
| Z1Z | 0 | 0 | Ri 5 |
| IR8Z | 0 | 0 | Ri 4 |






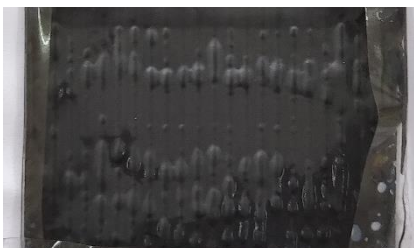

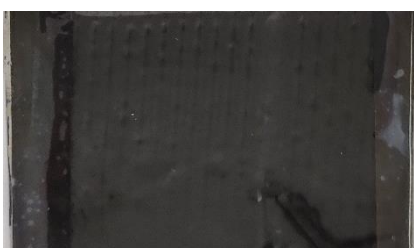
6.1.12.2 Ispitivanje u sumpornoj kiselini

Uranjanje u vodenu otopinu sumporne kiseline trajalo je 48 sati. Na slici 64 nalazi se prikaz uzoraka tijekom i nakon uranjanja u kiselinu. Ocjene korozijske otpornosti dane su u tablici 31.



Slika 64. Uzorci u sumpornoj kiselini za vrijeme i nakon 48 sati ispitivanja

Tablica 31. Analiza uzoraka nakon 48 sati ispitivanja u vodenoj otopini H_2SO_4

| Uzorak | HRN EN ISO 2409 | HRN EN ISO 4628-2 | HRN EN ISO 4628-3 |
|--------|---|--|-------------------|
| | <i>Cross-cut</i> | Mjehuranje | Hrđanje |
| Z2 | 5 | D5S5 | Ri 0 |
| IR9 | 5 | D5S5 | Ri 0 |
| Z3Z | 4 | D4S4 | Ri 0 |
| IR5Z | 4 | D2S4 | Ri 0 |
| Z2 |  |  | |
| IR9 |  |  | |
| Z3Z |  |  | |
| IR5Z |  |  | |

6.1.12.3 Ispitivanje u vodenoj otopini klorovodičnoj kiselinu

Izlaganje vodenoj otopini klorovodične kiseline trajalo je 48 sati (slika 65). Rezultati ispitivanja nalaze se u tablici 32 dok je na slikama 66 i 67 prikazan izgled uzoraka.



Slika 65. Uzorci uronjeni u 5 %-tnu HCl

Tablica 32. Analiza uzoraka nakon 48 sati ispitivanja u vodenoj otopini HCl

| Uzorak | HRN EN ISO 2409 | HRN EN ISO 4628-2 | HRN EN ISO 4628-3 |
|--------|------------------|-------------------|-------------------|
| | <i>Cross-cut</i> | Mjehuranje | Hrđanje |
| Z3 | 0 | D2S3 | Ri 0 |
| IR2 | 2 | D5S5 | Ri 0 |
| Z2Z | 5 | D4S5 | Ri 0 |
| IR1Z | 5 | D5S5 | Ri 0 |



Slika 66. Uzorci nakon 48 sati izlaganja klorovodičnoj kiselinu - Hempadur 15553



Slika 67. Uzorci nakon 48 sati izlaganja klorovodičnoj kiselinu - Hempadur Avantguard 770

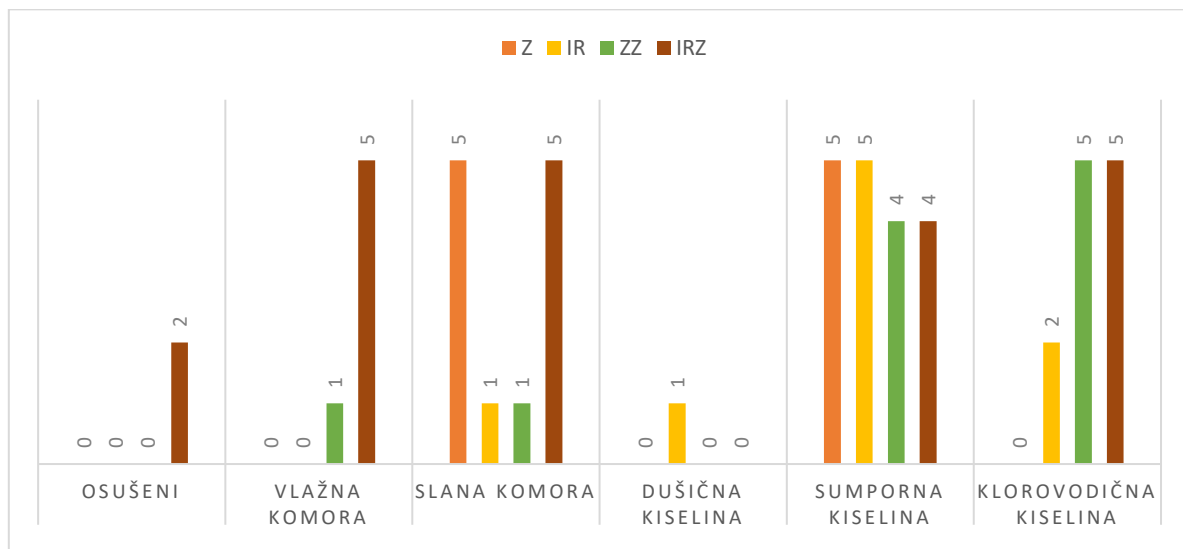
6.2 Rasprava

Premazi sušeni IC zračenjem višestruko brže su se osušili, no mana takvog načina sušenja je promjena boje kod temeljnog premaza bogatog cinkom. Premaz je na svim uzorcima ispio svjetlije nijanse nego što proizvođač garantira, dok je nijansa kod uzoraka sušenih na zraku postojana. Mjerenjem debljine premaza ustanovljeno je da su premazi sušeni infracrvenim zračenjem nešto tanji u odnosu na one sušene zrakom. Utjecaj na to imao je i spiralni aplikator koji je uzrokovao brjegovе i dolove na površini pa je došlo do značajnog odstupanja debljine premaza.

Ispitivanja tvrdoće Shore D metodom i metodom olovaka pokazala su da višu vrijednost tvrdoće ima dvokomponentna epoksidna boja. Mjerenje tvrdoće Shore D metodom pokazalo je da najvišu vrijednost tvrdoće imaju uzorci premazani dvokomponentnom epoksidnom bojom sušeni IC zračenjem i sušeni na zraku, a zatim uzorak premazan temeljnim premazom sušen IC zračenjem i na kraju taj premaz sušen na zraku. S druge strane, ispitivanjem metodom olovaka dobiveno je da najbolju tvrdoću posjeduje dvokomponentna epoksidna boja sušena na zraku, a najlošiju temeljni premaz bogat cinkom. Razlika u rezultatima ispitivanja desila se zbog toga što su vrijednosti metodom Shore D mjerene na četiri uzoraka svake vrste, a metoda olovaka na jednom uzorku.

Prionjivost uzoraka nakon sušenja mjerena je vlačnom metodom. Premazi sušeni IC zračenjem imali su više vrijednosti od premaza sušenih na zraku, no rezultati su nezadovoljavajuće niski. Problem kod ovog ispitivanja stvarale su iznimno tanke ispitne pločice jer za ovo ispitivanje treba biti deblja podloga osnovnog metala kako bi se uređaj za odvajanje čunjića mogao ispravno postaviti.

Drugi način mjerenja prionjivosti premaza koji je proveden je zarezivanjem mrežice. Usporedni rezultati ispitivanja nakon izlaganja uzoraka različitim medijima prikazani su na slici 68. Najlošiju prionjivost pokazuje IC sušen temeljni premaz. Bolju prionjivost uglavnom imaju premazi sušeni na zraku. Premazi su pokazali zadovoljavajuću prionjivost nakon sušenja te nakon ispitivanja u vlažnoj komori osim gore navedenog premaza. Također su imali dobru prionjivost nakon izlaganja u vodenoj otopini dušične kiseline, no ispitivanje je trajalo samo 10 minuta radi burne reakcije između kiseline i metala. U slanoj komori dobra svojstva pokazali su infracrveno sušena dvokomponentna epoksidna boja i temeljni premaz bogat cinkom sušen na zraku dok su ostale dvije kombinacije potpuno izgubile prionjivost. U vodenoj otopini sumporne kiseline oba premaza imaju izrazito lošu prionjivost, a u otopini klorovodične kiseline temeljni premaz sušen na oba načina.



Slika 68. Vrijednosti ispitivanja zarezivanjem mrežice nakon izlaganja u različitim medijima

Najbolju otpornost na udar pokazao je uzorak temeljnog premaza sušen na zraku, dok je najlošiju imao taj premaz infracrveno sušen. Nasuprot tome, kod uzoraka premazanih dvokomponentnom epoksidnom bojom bolju je otpornost pokazao infracrveno osušen premaz u odnosu na premaz osušen na zraku.

Elektrokemijska ispitivanja dala su vrlo loše rezultate. Mjerenjem potencijala otvorenog kruga dobivene su negativne vrijednosti potencijala što ukazuje na prodor elektrolita u premaz i koroziju. Najviša vrijednost potencijala otvorenog strujnog kruga dobivena je kod uzorka premazanog dvokomponentnom epoksidnom bojom sušenog na zraku dok je najlošiji bio uzorak premazan temeljnim premazom i sušen IC zračenjem. Slični rezultati dobiveni su elektrokemijskom impedancijskom spektroskopijom. Dobiveni rezultati ukazuju na koroziju ispod premaza jer ni jedan otpor nije postigao minimalnu vrijednost od $10^6 \Omega\text{cm}^2$.

Izlaganje uvjetima u vlažnoj komori pokazalo je da dvokomponentna epoksidna boja ne pokazuje znakove hrđanja, pucanja i ljuštenja, no došlo je do pojave nekoliko mjehura na premazima koji su sušeni i na zraku i infracrvenim zračenjem. Prionjivost ovih premaza je izuzetno dobra. Uzorci koji su premazani temeljnim premazom ne pokazuju nikakvu pojavu mjehuranja, hrđanja, pucanja i ljuštenja, ali prilikom ispitivanja prionjivosti uzorak sušen na zraku minimalno se oljuštio, dok se premaz IC sušen potpuno odvojio.

Rezultati dobiveni ispitivanjem u slanoj komori prikazuju da bolju postojanost nakon izlaganja ima temeljni premaz bogat cinkom. Na tim je uzorcima vidljiva pojava bijelih produkata korozije. To su spojevi cinka koji nastaju u svrhu zaštite površine od korozije. Uzorak sušen na zraku ima minimalno odvajanje, no na površini nisu vidljivi tragovi hrđanja, mjehuranja, pucanja ni ljuštenja. Infracrveno sušen premaz odvojio se prilikom ispitivanja prionjivosti. Oko ureza vidljiva je pojava mjehuranja. Iako premaz izgleda kao da nije korodirao oko ureza, skidanjem premaza oko ureza vidljiva je pojava korozije na čeličnoj pločici. IC sušen uzorak zadovoljava stupanj korozije za razliku od uzorka sušenog na zraku. S druge strane, na uzorcima premazanim dvokomponentnom epoksidnom bojom vidljiva je korozija i nekoliko većih mjehura, a kod uzorka koji je IC sušen došlo je i do pucanja. Uzorak sušen na zraku potpuno se odvojio prilikom ispitivanja prionjivosti. Kod ureza vidljivi su nešto manji mjehuri, no kod druga dva uzorka. Oba uzorka s ovim premazom imaju stupanj korozije manji od 1,5 mm što je zadovoljavajuće.

Držanje uzoraka u 30 %-tnoj vodenoj otopini dušične kiseline pokazalo je iznimnu važnost primjene premaza. S obzirom na to da je izlaganje u kiselini moralo biti prekinuto nakon samo 10 minuta radi propadanja osnovnog materijala, prionjivost premaza bila je iznimno dobra. Na uzorcima na kojima je nanescena dvokomponentna epoksidna boja gotovo da i nije vidljiv trag korozije, no premaz je promijenio boju iz propisane svijetlo sive u žutu nijansu. S druge strane, na uzorcima na kojima je nanesen temeljni premaz bogat cinkom vidljivi su tragovi hrđanja na površini premaza.

Vodena otopina sumporne kiseline pokazala se kao poguban medij za oba premaza. Na uzorcima na kojima je dvokomponentna epoksidna boja pojavilo se izrazito mjehuranje, premaz se odvojio od ispitne čelične pločice te se napuhnulo. Nešto bolju prionjivost, ali i dalje nedovoljno dobru imaju uzorci na kojima je nanesen temeljni premaz. Kod uzoraka sušenih na zraku izraženija je pojava mjehura nego kod IC sušenih uzoraka.

Uzorci izloženi u vodenoj otopini klorovodične kiseline vrlo su podložni mjehuranju. Najbolju prionjivost pokazala je dvokomponentna epoksidna boja sušena na zraku, dok je onaj uzorak sušen IC zračenjem značajnije oštećen zbog mnogo većih i gušćih mjehura. Temeljni premaz pokazao je izrazito lošu prionjivost i mjehuranje, a premaz sušen IC zračenjem u potpunosti se odvojio od podloge. Ni jedan od uzoraka na sebi nije imao vidljive tragove hrđe podloge.

7. ZAKLJUČAK

Prilikom izvođenja eksperimentalnog dijela rada pokazane su prednosti, ali i nedostaci IC sušenih premaza. Njihovo je sušenje bilo brže od sušenja pri temperaturi okoliša. Ipak takvi premazi pokazali su neka lošija svojstva. Od mehaničkih svojstva najveći problem bila je prionjivost. Cinkom bogati epoksidni temeljeni premaz Hempadur Avantguard 770 pokazao je izuzetno lošu prionjivost u svim medijima u kojima je bio izložen. IC sušena dvokomponentna epoksidna boja Hempadur 15553 imala je bolje rezultate nego cinkom bogati temeljni premaz, no i dalje lošiji nego sušen na zraku. S druge strane, vrijednost tvrdoće pokazala se boljom kod IC sušenih premaza. Temeljni premaz manje je podložan mjehuranju, ali je loše prionjivosti jer je u nekoliko ispitivanja u potpunosti došlo do odvajanja od podloge. Oba premaza pokazala su dobru korozijsku otpornost u vlažnoj atmosferi, te zadovoljavajuću u slanoj izuzev temeljnog premaza sušenog na zraku. Elektrokemijska ispitivanja pokazala su da je došlo do korozije već prvog dana izlaganja u vodenoj otopini NaCl-a.

Ostvareni lošiji rezultati ispitivanja posljedica su velike razlike u debljini premaza. Radi korištenja spiralnog aplikatora napravili su se tragovi koji su osobito ostali vidljivi na temeljnom premazu bogatom cinkom. Taj bi se problem mogao riješiti korištenjem kubnog aplikatora. Također, problem je stvarala i površina na koju su se nanosili premazi. Ispitne pločice bile su fino polirane, a premazi prema specifikacijama zahtijevaju grublju podlogu. To je važno osobito za cinkom bogate premaze koji se nanose na srednje hrapavu površinu jer cink iz premaza ulazi u površinu i veže se s njom.

IC sušenje uvelike ubrzava proces zaštite površine premazima. Tako sušeni premazi gotovo da se ne razlikuju u svojstvima u odnosu na premaze sušene na zraku. S obzirom na to da je ovo još uvijek nova metoda sušenja, njena primjena nije široka, ali postoji velik potencijal. Potrebna su daljnja istraživanja što se tiče parametara sušenja poput udaljenosti emitera od predmeta koji se suši i traženja optimalnog kuta za teško dostupna mjesta. Također, važno je potaknuti i proizvođače premaza na istraživanje ponašanja pri IC zračenju. Valjalo bi optimirati postojeće premaze kako bi što bolje apsorbirali energiju i što brže se osušili, a pritom zadržali odličnu korozijsku otpornost te mehanička svojstva.

LITERATURA

- [1] Revie, R.W, Uhlig, H. H.: Corrosion and Corrosion control, John Wiley, Inc., Hoboken New Yersey, 2008.
- [2] <http://impact.nace.org/economic-impact.aspx>, pristupljeno 29.1.2022.
- [3] Fontana, M. G.: Corrosion engineering, McGraw-Hill Book Company, Singapur, 1987.
- [4] Juraga, I., Alar. V., Stojanović, I.: Korozija i zaštita premazima, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2014.
- [5] During, E. D. D.: Corrosion Atlas, Elsevier, Amsterdam, 2018.
- [6] Corrosion: Fundamentals, Testing, and Protection, ASM HANDBOOK, volume 13A, 2003.
- [7] Jones, D. A.: Principles and prevention of corrosion, Nevada, 1996.
- [8] Popov, B. N.: Corrosion engineering: Principles and solved problems, Amsterdam, 2015.
- [9] Mehanizmi zaštite od korozije – autorizirana predavanja
- [10] Munger, C. G.: Corrosion prevention by protective coatings, second edition, NACE Interantional, Houston, SAD, 1999.
- [11] Zhang, X.G.: Corrosion and electrochemistry of Zinc, Springer, New York, 1996.
- [12] <https://www.livescience.com/50260-infrared-radiation.html>, pristupljeno 4.2.2022.
- [13] <https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/fa4cd5a4-17e1-47c2-a2db-545721e1cce5/elektromagnetski-val.html>, pristupljeno 4.2.2022.
- [14] ISO 20473 Optics and photonics — Spectral bands
- [15] Islam, Z., Dhib, R., Dahman Y.: Modeling of Infrared Drying of Polymer Solutions, Chemical Product and Process Modeling, Volume 5, 2010., De Gruyter
- [16] Heraus: Infrared emitters dry water-based coatings efficiently, https://www.heraeus.com/media/media/hng/doc_hng/industries_and_applications_1/infrared_heat_1/pdfs/infrared_for_wet_coating.pdf, pristupljeno 5.2.2022.
- [17] Cheremisinoff, N.P.: Electrotechnology, Noyes publication, Westwood, 1996.
- [18] Nienhuis, J.G.: Review on drying and curing techniques of coatings
- [19] <https://www.pcimag.com/articles/95313-instant-curing-with-near-infrared-technology>, pristupljeno 8.2.2022.
- [20] Mujumdar, A. S.: Handbook of Industiral Drying, Taylor & Francis Group, 2006.

- [21] <https://www.cassosolartechnologies.com/blog/catalytic-infrared-paint-curing-system-discussed/#:~:text=Catalytic%20IR%20heater%20technology%20is,a%20heat%2Dproducing%20chemical%20reaction>, pristupljeno 5.2.2022.
- [22] <https://www.pfonline.com/articles/understanding-infrared-curing>, pristupljeno 5.2.2022.
- [23] <https://www.netek.dk/>, pristupljeno 5.2.2022.
- [24] <https://www.thermalinnovations.com/electric-infrared-curing-systems.html>, pristupljeno 5.2.2022.
- [25] <https://ibt.de/drying-water-based-lacquers-en>, pristupljeno 6.2.2022.
- [26] <https://infratech-solutions.co.uk/what-paint-curing-is-and-the-techniques-you-can-use/>, pristupljeno 6.2.2022.
- [27] HRN EN ISO 8501-1:2007, „*Priprema čeličnih podloga prije nanošenja boja i srodnih proizvoda – Vizualna procjena čistoće površine – 1 dio: Stupnjevi hrđanja i stupnjevi pripreme površine nezaštićenih čeličnih površina i čeličnih površina nakon potpunog uklanjanja prethodnih prevlaka*“
- [28] ISO 2409:2013: Paints and varnishes — Cross-cut test
- [29] <https://www.ameteksi.com/products/electrochemical-accessories/electrochemical-accessories/k0307-tait-cell-kit>, pristupljeno 10.2.2022.
- [30] ISO 4628-3:2016, „*Paints and varnishes Evaluation degradation of coatings – Designation of quantity and size of detects, and of intensity of uniform changes in apperance – Part 3: Assessment of degree of rusting*“
- [31] ISO 4628-4:2016, „*Paints and varnishes Evaluation degradation of coatings – Designation of quantity and size of detects, and of intensity of uniform changes in apperance – Part 4: Assessment of degree of cracking*“
- [32] ISO 4628-5:2016, „*Paints and varnishes Evaluation degradation of coatings – Designation of quantity and size of detects, and of intensity of uniform changes in apperance – Part 5: Assessment of degree of flaking*“

PRILOZI

- I. Tehnički list premaza 15553
- II. Tehnički list premaza Hempadur Avantguard 770

Prilog I: Tehnički list premaza 15553

Tehnički list proizvoda



Hempadur 15553

Karakteristike proizvoda

Opis

Hempadur 15553 dvokomponentna je epoksidna boja. Stvara elastičan premaz koji dobro prijanja i ima dobru otpornost na abraziju i udar. Sadrži cink-fosfate. Otvrdnjava sve do -10°C.

U skladu je s Direktivom EU-a 2004/42/EC o ograničavanju hlapivih organskih spojeva u bojama i lakovima: potkategorija j.

Preporučena uporaba

Preporuča se kao temeljni premaz za sisteme na toplo-pocinanim površinama te za zaštitu površina od aluminija, celika i nehrđajućeg celika u umjereno do jako korozivnoj sredini.

Hempadur 15553 također je podesan kad nije moguće ohrapaviti površinu. Vidi pripremu površine na poledini.

Temperatura u eksploataciji:

- Maksimalno, samo u suhim uvjetima: 140°C [284°F].

Certifikati / Odobrenja

- Provedeno ispitivanje EZ tipa za materijal na kojemu se plamen sporo širi kada se koristi u prethodno definiranom sustavu premaza. Za daljnje pojedinosti molimo pogledati „Izjavu o sukladnosti“ na hempel.com.

- Sukladan je s europskom normom za reakcije na požar EN 13501-1, klasa požarne reakcije: B-s1, d0.

Sigurnost proizvoda

Plamište 30°C [86°F]

Sadržaj mješovitog proizvoda HOS

| Zakonodavstvo | Vrtnost | 5% razrjeđivanje, volumno | Granična vrtnost, faza II (2010)* |
|-----------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| EU | 388 g/L [3,24 lb/SAD gal] | 411 g/L [3,43 lb/SAD gal] | 500 g/L [4,17 lb/SAD gal] |
| SAD (premaz) | 388 g/L [3,24 lb/SAD gal] | - | - |
| SAD (regulator) | 388 g/L [3,24 lb/SAD gal] | - | - |
| Kina | 388 g/L [3,24 lb/SAD gal] | - | - |

U skladu sa posebnim propisima, pojednosti možete potražiti u Objašnjenjima dostupnima na web-mjestu Hempel, hempel.hr ili lokalnom web-mjestu Hempel. Vrtnosti HOS-a mogu se razlikovati ovisno o nijansi, pogledajte Sigurnosno-tehnički list, odjeljak 9. *Direktiva EU 2004/42/EZ

Rukovanje

Pažljivo rukujte. Prije i za vrijeme uporabe, pridržavajte se sigurnosnih oznaka na pakiranju i spremnicima za boju i slijedite sve lokalne i nacionalne propise o sigurnosti. Uvijek pogledajte sigurnosni tehnički list(ove) tvrtke Hempel za ovaj proizvod zajedno s tehničkim listom proizvoda.

Samo za profesionalnu uporabu.

Podaci o proizvodu

Kod proizvoda
15553

Komponente proizvoda
Baza 15557
Utvrđivač 98021

Standardna nijansa* / kod
Svjetlosiva 11320 **

Sjaj
Mat

Volumni sadržaj suhe tvari
55 ± 2%

* Dostupne su i druge boje, obratite se lokalnom predstavniku tvrtke Hempel.

** Prilikom izloženosti vanjskim utjecajima, prirodna sklonost premaza od epoksidne smole kredarju i izbjelivanju odražava se i u ovom proizvodu.

Tehnički list proizvoda



Hempadur 15553

Specifična težina
1,5 kg/L [13 lb/SAD gal]

Referentna debljina suhog filma
50 µm [2,0 mils]

Priprema površine

Čistoća

- Ulja, masnoću i ostala onečišćenja odstraniti s odgovarajućim deterdžentom.
- Soli, deterdžent i ostala onečišćenja odstraniti mlazom slatke vode pod visokim pritiskom.

Novo nanošenje:

- Potrebno je odstraniti prašinu, abraziv i materijal koji se slabo drži podloge.
- Pranje abrazivom kako bi se odstranile sve naslage bijele hrđe.
- Čišćenje mlazom abraziva na min. Sa 2½ (ISO 8501-1) / SP 10 (SSPC).
- Nehrđajući čelik, aluminij i drugi obojeni metali i legure: upotrijebite nemetalno sredstvo za pješkarenje (korund, granat, itd.).

Održavanje i popravak

- Potrebno je odstraniti prašinu, abraziv i materijal koji se slabo drži podloge.
- Pranje abrazivom kako bi se odstranile sve naslage bijele hrđe.
- Mjestimično abrazivno čišćenje na min. PSa 2½ (ISO 8501-2) / SP 10 (SSPC).
- Nehrđajući čelik, aluminij i drugi obojeni metali i legure: upotrijebite nemetalno sredstvo za pješkarenje (korund, granat, itd.).

Hrapavost

- Više pojedinosti potražite u posebnim uputama za pripremu površina tvrtke Hempel.

Više pojedinosti potražite u posebnim uputama za pripremu površina tvrtke Hempel.

Primjena

Omjer miješanja

Baza 15557 : Utvrđivač 98021
(3 : 1 volumno)

Dobro promiješati prije upotrebe.

Razrjeđivač

Hempel's Thinner 08450

Sredstvo za čišćenje

Hempel's Tool Cleaner 99610

Trajnost

| | |
|------------------------------|----------------|
| Temperatura proizvoda | 20°C [68°F] |
| Trajnost | 2 sati |

Način primjene

| Alat | Razrjeđivanje maks. vol. | Parametri primjene |
|-----------------|--------------------------|---|
| Bezračna šprica | 5% | Izlazni pritisak: 175 bar [2500 psi] Otvor sapnice: 0.017-0.019" |
| Kist | 5% | Nije primjenljivo. |

Ako se premaz nanosi kistom ili vajkom, bit će potrebno više premaza kako bi se postigla specificirana debljina suhog filma. Podaci za raspršivač okviri su i mogu se prilagoditi.

Tlak je za temperaturu materijala 20°C [68°F].

Tehnički list proizvoda



Hempadur 15553

Debljina filma

| Raspon specifikacije | Mala | Velika | Preporuča se |
|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| Debljina suhog filma | 50 µm [2,0 mils] | 80 µm [3,1 mils] | 50 µm [2,0 mils] |
| Debljina mokrog filma | 90 µm [3,5 mils] | 150 µm [5,9 mils] | 90 µm [3,5 mils] |
| | 11 m ² /L | 6,9 m ² /L | 11 m ² /L |
| Teoretska izdašnost | [450 sq ft/SAD gal] | [280 sq ft/SAD gal] | [450 sq ft/SAD gal] |

Ovisno o namjeni i području primjene, za proizvod se može specificirati i neka druga debljina filma od one koja je navedena. To će izmijeniti vrijednosti dane za izdašnost, vrijeme sušenja i otvrdnjavanja te međupremaznog intervala. Za najbolju izvedbu izbjegavajte prekomjernu debljinu filma.

Uvjeti primjene

- Nanositi na suhu i čistu površinu s temperaturom koja je najmanje 3°C [5°F] iznad rosišta kako bi se spriječila kondenzacija.
- Tijekom nanošenja i skrućivanja temperatura površine mora biti viša od -10°C [14°F].
- Na niskim temperaturama postoji rizik od pojave leda.
- Optimalna temperatura boje za ispravno zamješavanje, pumpanje i raspršivanje iznosi: 15-25°C [59-77°F].

Sušenje i premazivanje

Kompatibilnost proizvoda

- Prethodni premaz: Ne postoji.
- Sljedeći premaz: U skladu sa specifikacijom tvrtke Hempel.
- Preporučeni proizvodi su: Hempadur, Hemplathane, Hemplatex

Vrijeme sušenja

| Temperatura površine | | 20°C [68°F] |
|----------------------|------|----------------|
| Suho na dodir | min. | 18 |
| Tvrdo suho | min. | 90 |

Utvrđeno za debljina suhog filma 50 mikrona [2,0 mils] pri standardnim uvjetima, pojednosti potražite u Objašnjenjima tvrtke Hempel.

Nanošenje sljedećeg premaza

Specifikacija tvrtke Hempel ima prednost pred smjericama navedenim u tablici za dodatno zaštitno premazivanje.

| Naziv kvalitete | Atmosferski srednji | | | |
|----------------------|---------------------|-------------------|------------------|-----------------|
| | | -10°C [14°F] | 0°C [32°F] | 20°C [68°F] |
| Hempadur 15553 | Min. Maks. | 27 sat. Prod.* | 14 sat. Prod. | 3 sat. Prod. |
| Hemplathane HS 55610 | Min. Maks. | 27 sat. 90 d. | 14 sat. 45 d. | 3 sat. 10 d. |

Razdoblja dodatnog zaštitnog premazivanja Indikativna su za proizvode istog generičkog kemijskog sastava.

Za više informacija pogledajte specifikaciju tvrtke Hempel.

Uvjeti sušenja

- Za ostvarivanje navedenog vremena sušenja važno je održavati odgovarajuću ventilaciju tijekom nanošenja, sušenja i skrućivanja.

Napomene za premazivanje

- Ukoliko se maksimalni međupremazni interval prekorači, potrebno je ohrapaviti površinu kako bi se osigurala adhezija među premazima.
- Površina mora biti čista prije nanošenja sljedećeg premaza.

Ostale napomene

- Epoksi premazi imaju sklonost kredanju prilikom izloženosti vanjskim utjecajima. To ne utječe na izvedbu premaza.
- Specifikacija tvrtke Hempel dokida bilo koju preporuku koja je dana u Podacima o proizvodu.

Skladištenje

Rok valjanosti

| Temperatura okoline | 25°C [77°F] | 35°C [95°F] |
|---------------------|----------------|----------------|
| Baza | 6 mjeseci | 6 mjeseci |
| Utvrđivač | 36 mjeseci | 24 mjeseci |

Rok valjanosti od datuma proizvodnje, ako se čuva u originalnim, neotvorenim spremnicima. Nakon toga se mora ponovno provjeriti kvaliteta proizvoda. Uvijek provjerite natpis Najbolje prije datuma i datum isteka na najepnici.

Tehnički list proizvoda



Hempadur 15553

Uvjeti skladištenja

- Proizvod mora biti skladišten u skladu s lokalnim propisima, na maksimalno 40°C [104°F], bez izloženosti sunčevom svjetlu i zaštićen od kiše i snijega.

Dodatni dokumenti

Dodatne informacije dostupne su na web-mjestu tvrtke Hempel: hempel.com ili na lokalnom web-mjestu tvrtke Hempel:

- Objašnjenja koja objašnjavaju različite dijelove ovog tehničkog lista proizvoda.
- Smjernice za pripremu površine.
- Smjernice za primjenu za različite metode primjene.
- Opće smjernice za nanošenje

Ovaj Tehnički list proizvoda ("TLP") odnosi se na isporučeni proizvod ("Proizvod") i podliježe povremenom ažuriranju. Prema tome, kupac/osoba koja primjenjuje tvar treba uzeti u obzir TLP isporučen zajedno s odgovarajućom serijom Proizvoda (a ne stariju verziju). Osim TLP-a, kupac/osoba koja primjenjuje tvar može dobiti neka ili sve sljedeće specifikacije, izvještaje ili smjernice, koje su navedene u nastavku ili dostupne na Hempelovoj Internetskoj stranici pod stavkom „Proizvod“ na www.hempel.com ("Dodatni dokumenti").

| Br. | Opis dokumenta | Lokacija/komentari |
|-----|--|---|
| 1. | Tehnička izjava | Jednokratni specifičan savjet, pružen na zahtjev za određene projekte |
| 2. | Specifikacija | Izdaje se samo za određene projekte |
| 3. | TLP | Ovaj dokument |
| 4. | Objašnjenja TLP-a | Dostupna na www.hempel.com i obuhvaćaju odgovarajuće informacije o parametrima testiranja Proizvoda |
| 5. | Upute za primjenu | Ako su dostupne, na www.hempel.com |
| 6. | Općenite tehničke smjernice (npr. o nanošenju i pripremi površine) | Ako su dostupne, na www.hempel.com |

U slučaju proturječnosti informacija između TLP-a i Dodatnih dokumenata, prioritet imaju informacije sukladno gore navedenom redoslijedu. U tom slučaju, također biste trebali kontaktirati svog predstavnika u Hempelu, radi pojašnjenja. Nadalje, kupac/osoba koja primjenjuje tvar mora u potpunosti uzeti u obzir odgovarajući Sigurnosno-tehnički list („STL“) isporučen uz svaki Proizvod, a koji se također može preuzeti na www.hempel.com.

Hempel ne snosi odgovornost za nedostatke ako primjena Proizvoda nije izvršena u skladu s preporukama i zahtjevima navedenim u odgovarajućim TLP-ovima i Dodatnim dokumentima. Informacije i uvjeti ove Izjave o odricanju od odgovornosti primjenjuju se na ovaj TLP, Dodatne dokumente i sve druge dokumente koje Hempel isporučuje u vezi s Proizvodom. Uz to, Proizvod se isporučuje, a sva tehnička pomoć pruža u skladu s Hempelovim Općim uvjetima prodaje, isporuke i usluga, osim ako drukčije nije izričito navedeno u pisanom obliku.

hempel.com

Izdala tvrtka Hempel A/S - Lipanj 2021
4/4

Prilog II: Tehnički list premaza Hempadur Avantguard 770

Tehnički list proizvoda



Hempadur Avantguard 770

Karakteristike proizvoda

Opis

Hempadur Avantguard 770 jest aktivirani, cinkom bogati epoksidni temeljni premaz u skladu sa zahtjevima SSPC-a, 2. razina, tip II boja-20, 2019 i standardom ISO 12944, 5. dio, 2018. Proizvod je u potpunosti u skladu s normom ASTM D520 tip II.

Preporučena uporaba

Hempadur Avantguard 770 preporučuje se kao svestrani temeljni premaz za dugoročnu zaštitu čelika u jako korozivnom okolišu. Posebno podesno za upotrebu u okruženjima održavanja i offshore okruženju.

Temperatura u eksploataciji:

- Maksimum, samo u suhim uvjetima: 160°C [320°F].

Certifikati / Odobrenja

- Ispunjava zahtjeve norme ISO 12944, kada se koristi kao dio unaprijed definiranog sustava premaza, Part 9 CX.
- Ispunjava zahtjeve norme NORSOK M-501, kada se koristi kao dio unaprijed definiranog sustava premaza, Edition no. 6, System 1, 7A, 7B.

Svojstva

- Smanjuje učinak korozije i pruža izvrsnu galvansku zaštitu.
- Suši se brzo i ima kratke minimalne intervale ponovnog premazivanja.
- Izvrsna mehanička čvrstoća, također i u cikličkim temperaturama, s poboljšanom tolerancijom na velike debljine suhog filma zahvaljujući visokoj fleksibilnosti i samozacjeljujućem učinku.
- Izvrsna tolerancija na visoku relativnu vlažnost tijekom nanošenja.
- Otvrdnjavanje do - 10°C [14°F].

Sigurnost proizvoda

Plamište 28°C [79°F]

Sadržaj mješovitog proizvoda HOS

| Zakonodavstvo | Vrijednost |
|-------------------|---------------------------|
| EU | 328 g/L [2,74 lb/SAD gal] |
| SAD (premaži) | 328 g/L [2,74 lb/SAD gal] |
| SAD (regulatorno) | 328 g/L [2,74 lb/SAD gal] |
| Kina | 328 g/L [2,74 lb/SAD gal] |

U skladu sa posebnim propisima, pojednost možete potražiti u Objašnjenjima dostupnima na web-mjestu Hempel, hempel.hr ili lokalnom web-mjestu Hempel.

Rukovanje

Pažljivo rukujte. Prije i za vrijeme uporabe, pridržavajte se sigurnosnih oznaka na pakiranju i spremnicima za boju i slijedite sve lokalne i nacionalne propise o sigurnosti. Uvijek pogledajte sigurnosni tehnički list(ove) tvrtke Hempel za ovaj proizvod zajedno s tehničkim listom proizvoda.

Samo za profesionalnu uporabu.

Podaci o proizvodu

Kod proizvoda
17382

Komponente proizvoda
Baza 17388
Utvrđivač 98384

Standardna nijansa / kod
Tamnosiva 10830

Sjaj
Mat

Volumni sadržaj suhe tvari
66 ± 2%

Specifična težina
2,4 kg/L [20 lb/SAD gal]

Referentna debljina suhog filma
60 µm [2,4 mils]

Tehnički list proizvoda



Hempadur Avantguard 770

Priprema površine

Čistoća

- Ulja, masnoću i ostala onečišćenja odstraniti s odgovarajućim deterdžentom.
- Soli, deterdžent i ostala onečišćenja odstraniti mlazom slatke vode pod visokim pritiskom.

Novo nanošenje:

- Čišćenje mlazom abraziva na min. Sa 2½ (ISO 8501-1) / SP 10 (SSPC).
- Potrebno je odstraniti prašinu, abraziv i materijal koji se slabo drži podloge.

Održavanje i popravak

- Čišćenje mlazom abraziva na min. Sa 2 (ISO 8501-1) / SP 6 (SSPC).
- Čišćenje vodenim mlazom na Wa 2½ (ISO 8501-4).
- Lagana površinska korozija do maksimalnog stupnja FR M (ISO 8501-4).
- Stanjiti rubove do zdravog okolnog premaza.
- Potrebno je odstraniti prašinu, abraziv i materijal koji se slabo drži podloge.

Hrapavost

- Profil hrapavosti površine Medium (G) (ISO 8503-2).

Više pojedinosti potražite u posebnim uputama za pripremu površina tvrtke Hempel.

Primjena

Omjer miješanja

Baza 17388 : Utvrđivač 08384
(4 : 1 volumno)

Proizvodi koji sadrže čestice/pigmente koji plutaju ili se talože moraju se stalno miješati u toku nanošenja. To je naročito važno kod većeg razrjeđivanja.

Razrjeđivač

Iznad 20°C [68°F] Hempel's Thinner 08450
Ispod 20°C [68°F] Hempel's Thinner 08510

Sredstvo za čišćenje

Hempel's Tool Cleaner 99610

Trajnost

| Temperatura proizvoda | 0°C [32°F] | 20°C [68°F] | 40°C [104°F] |
|-----------------------|------------|-------------|--------------|
| Trajnost | 8 sati | 7 sati | 5 sati |

Način primjene

| Alat | Razrjeđivanje maks. vol. | Parametri primjene |
|-----------------|--------------------------|---|
| Bezračna šprica | 5% | Izlazni pritisak: 220 bar [3200 psi] Otvor sapnice: 0.017-0.021" |
| Zračna šprica | 10% | Nije primjenjivo. |
| Valjakkist | 5% | Nije primjenjivo. |

Ako se premaz nanosi kistom ili valjkom, bit će potrebno više premaza kako bi se postigla specificirana debljina suhog filma. Podaci za rasprivač okvirni su i mogu se prilagoditi.

Tlak je za temperaturu materijala 20°C [68°F].

Debljina filma

| Raspon specifikacije | Mala | Velika | Preporuča se |
|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Debljina suhog filma | 40 µm [1,6 mils] | 90 µm [3,5 mils] | 60 µm [2,4 mils] |
| Debljina mokrog filma | 60 µm [2,4 mils] | 130 µm [5,1 mils] | 90 µm [3,5 mils] |
| Teoretska izdašnost | 17 m²/L [690 sq ft/GAD gal] | 7,4 m²/L [300 sq ft/GAD gal] | 11 m²/L [450 sq ft/GAD gal] |

Ovisno o namjeni i području primjene, za proizvod se može specificirati i neka druga debljina filma od one koja je navedena. To će izmijeniti vrijednosti dane za izdašnost, vrijeme sušenja i otvrdnjavanja te međupremaznog intervala. Za najbolju izvedbu izbjegavajte prekomjerno debljinu filma.

Uvjeti primjene

- Tijekom nanošenja temperatura proizvoda mora biti viša od 15°C [59°F].
- Nanositi na suhu i čistu površinu s temperaturom koja je najmanje 3°C [5°F] iznad rosišta kako bi se spriječila kondenzacija.
- Tijekom nanošenja i skrućivanja temperatura površine mora biti viša od -10°C [14°F].
- Tijekom nanošenja i skrućivanja temperatura površine mora biti niža od 40°C [104°F].

Tehnički list proizvoda



Hempadur Avantguard 770

Relativna vlažnost:

- Relativna vlažnost tijekom nanošenja mora biti ispod 95%.

Sušenje i premazivanje

Kompatibilnost proizvoda

- Prethodni premaz: Ne postoji.
- Sljedeći premaz: Ne postoji ili u skladu sa specifikacijom tvrtke Hempel.

Vrijeme sušenja

| Temperatura površine | -10°C [14°F] | 0°C [32°F] | 20°C [68°F] | 40°C [104°F] |
|----------------------|-----------------|---------------|----------------|-----------------|
| Suho na dodir | min. 120 | 60 | 15 | 5 |
| Tvrdo suho | sat. 8½ | 5½ | 2½ | 1 |

Utvrđeno za debljina suhog filma 60 mikrona [2.4 mils] pri standardnim uvjetima, pojednost. potražite u Objasnjenjima tvrtke Hempel.

Nanošenje sljedećeg premaza

Specifikacija tvrtke Hempel ima prednost pred smjericama navedenim u tablici za dodatno zaštitno premazivanje.

| Naziv kvalitete | -10°C [14°F] | 0°C [32°F] | 20°C [68°F] | 40°C [104°F] |
|----------------------|----------------------------|------------------|------------------|-----------------|
| Atmosferski jaki | | | | |
| Hempaprime Multi 500 | Min. 3 sat. Maks. 90 d. | 90 min. 90 d. | 45 min. 30 d. | 25 min. 7 d. |
| Hempathane HS 55610 | Min. 3 sat. Maks. 90 d. | 90 min. 90 d. | 45 min. 30 d. | 25 min. 7 d. |

Razdoblja dodatnog zaštitnog premazivanja Indikativna su za proizvode istog generičkog kemijskog sastava.
Za više informacija pogledajte specifikaciju tvrtke Hempel.

Uvjeti sušenja

- Za ostvarivanje navedenog vremena sušenja važno je održavati odgovarajuću ventilaciju tijekom nanošenja, sušenja i skrućivanja.

Napomene za premazivanje

- Ukoliko se maksimalni međupremazni interval prekorači, potrebno je ohrapaviti površinu kako bi se osigurala adhezija među premazima.
- Uklonite cinkove soli ili drugo onečišćenje prije dodatnog zaštitnog premazivanja.

Ostale napomene

- Specifikacija tvrtke Hempel dokida bilo koju preporuku koja je dana u Podacima o proizvodu.

Skladištenje

Rok valjanosti

| Temperatura okoline | 25°C [77°F] | 35°C [95°F] |
|---------------------|----------------|----------------|
| Baza | 12 mjeseci | 9 mjeseci |
| Utvrđivač | 36 mjeseci | 24 mjeseci |

Rok valjanosti od datuma proizvodnje, ako se čuva u originalnim, neotvorenim spremnicima. Nakon toga se mora ponovno provjeriti kvaliteta proizvoda. Uvijek provjerite natpis Najbolje prije datuma i datum isteka na naljepnici.

Uvjeti skladištenja

- Proizvod mora biti skladišten u skladu s lokalnim propisima, na maksimalno 40°C [104°F], bez izloženosti sunčevom svjetlu i zaštićen od kiše i snijega.

Tehnički list proizvoda



Hempadur Avantguard 770

Dodatni dokumenti

Dodatne informacije dostupne su na web-mjestu tvrtke Hempel: hempel.com ili na lokalnom web-mjestu tvrtke Hempel:

- Objašnjenja koja objašnjavaju različite dijelove ovog tehničkog lista proizvoda.
- Smjernice za pripremu površine.
- Smjernice za primjenu za različite metode primjene.
- Opće smjernice za nanošenje

Ovaj Tehnički list proizvoda ("TLP") odnosi se na isporučeni proizvod ("Proizvod") i podliježe povremenom ažuriranju. Prema tome, kupac/osoba koja primjenjuje tvar treba uzeti u obzir TLP isporučeni zajedno s odgovarajućom verzijom Proizvoda (a ne stariju verziju). Osim TLP-a, kupac/osoba koja primjenjuje tvar može dobiti neke ili sve sljedeće specifikacije, izvještaje ili smjernice, koje su navedene u nastavku ili dostupne na Hempelovoj internetskoj stranici pod stavkom „Proizvod“ na www.hempel.com ("Dodatni dokumenti").

| Bč. | Opis dokumenta | Lokacija/komentari |
|-----|--|---|
| 1. | Tehnička izvještaja | Jednokratni specifičan savjet, pružen na zahtjev za određene projekte |
| 2. | Specifikacije | Izdaje se samo za određene projekte |
| 3. | TLP | Ovaj dokument |
| 4. | Objašnjenja TLP-a | Dostupna na www.hempel.com i obuhvaćaju odgovarajuće informacije o parametrima testiranja Proizvoda |
| 5. | Upute za primjenu | Ako su dostupne, na www.hempel.com |
| 6. | Općenite tehničke smjernice (npr. o nanošenju i pripremi površine) | Ako su dostupne, na www.hempel.com |

U slučaju proturječnosti informacija između TLP-a i Dodatnih dokumenata, prioritet imaju informacije sukledno gore navedenom redoslijedu. U tom slučaju, također biste trebali kontaktirati svog predstavnika u Hempelu, radi pojašnjenja. Nadalje, kupac/osoba koja primjenjuje tvar mora u potpunosti uzeti u obzir odgovarajući Sigurnosno-tehnički list („STL“) isporučeni uz ovaj Proizvod, a koji se također može preuzeti na www.hempel.com.

Hempel ne snosi odgovornost za nedostatak ako primjena Proizvoda nije izvršena u potpunosti u skladu s preporukama i zahtjevima navedenim u odgovarajućim TLP-ovima i Dodatnim dokumentima. Informacije i uvjeti ove izvještaja o odlicanju od odgovornosti primjenjuju se na ovaj TLP, Dodatni dokumenti i sve druge dokumente koje Hempel isporučuje u vezi s Proizvodom. Uz to, Proizvod se isporučuje, a sva tehnička pomoć pruža u skladu s Hempelovim Općim uvjetima prodaje, isporuka i usluga, osim ako drukčije nije izričito navedeno u pisanom obliku.

hempel.com

Izdala tvrtka Hempel A/S - Rujan 2021

4/4